SNI 8389:2017

Cara uji tarik logam

ICS 77.040.10

Daftar isi

Daftar gambar

Daftar tabel

Prakata

Standar Nasional Indonesia (SNI) 8389:2017 dengan judul "Cara uji tarik logam" merupakan revisi dari SNI 07-0408-1989 Cara uji tarik logam dan SNI 07-0371-1998 Batang uji tarik untuk bahan logam.

Standar ini disusun untuk memenuhi kebutuhan perkembangan teknologi dan standar produk yang terus berkembang.

Standar ini disusun oleh Komite Teknis 77-01, Logam, Baja dan Produk Baja dan telah dibahas dalam rapat konsensus di Bogor pada tanggal 29 September 2016 yang dihadiri oleh pemangku kepentingan masing-masing dari produsen, konsumen, pemerintah, asosiasi, laboratorium penguji, perguruan tinggi, pakar, serta institusi terkait lainnya. Standar ini mengacu JIS.

Standar ini telah melalui tahap jajak pendapat pada tanggal 25 November 2016 sampai dengan 25 Februari 2017.

Perlu diperhatikan bahwa kemungkinan beberapa unsur dari dokumen standar ini dapat berupa hak paten. Badan Standardisasi Nasional tidak bertanggung jawab untuk pengidentifikasian salah satu atau seluruh hak paten yang ada

Cara uji tarik logam

1 Ruang lingkup

1.1 Standar ini meliputi definisi, acuan, simbol, tipe bentuk, ukuran benda uji tarik bahan logam dan cara uji tarik.

1.2 Pemilihan bahan benda uji disesuaikan dengan standar masing-masing bahan yang akan diuji.

1.3 Batang uji lain yang tidak tercantum dalam standar ini dan bersifat khusus dapat digunakan dengan mengacu pada standar masing-masing.

2 Acuan normatif

Dokumen acuan berikut sangat diperlukan untuk penggunaan dokumen ini. Untuk acuan bertanggal, hanya edisi tersebut yang digunakan. Untuk acuan tidak bertanggal, acuan dengan edisi terakhir yang digunakan (termasuk semua amandemennya).

JIS B 7721, *Tension/compression testing machines – Verification and calibration of the force – Measuring system*

JIS B 7741, *Verification of extensiometer used in uniaxial testing*

3 Istilah dan definisi

3.1
panjang ukur/*gauge length* (L)
panjang bagian paralel benda uji yang akan diukur elongasinya

3.2
panjang ukur awal (L_o)
panjang ukur sebelum dilakukan pengujian

3.3
panjang ukur akhir setelah putus (L_u)
panjang ukur setelah benda uji putus kemudian diukur dengan menggabungkan kembali bagian yang putus secara tepat

3.4
panjang paralel (L_c)
panjang bagian paralel dimana luas penampang benda uji tereduksi

CATATAN Untuk benda uji yang tidak dilakukan *machining*, panjang paralel digantikan dengan jarak antar penjepit (*grip*)

3.5
elongasi
penambahan panjang ukur awal (L_o) setelah pengujian

3.6
persen elongasi
penambahan panjang ukur awal (L_o) yang ditunjukan dalam persentase perpanjangan terhadap panjang ukur awal

3.7
persen elongasi permanen
rasio penambahan panjang ukur awal (L_o) terhadap panjang ukur awal dalam persen

3.8
persen elongasi setelah putus (*A*)
rasio elongasi permanen ($L_u - L_o$), terhadap panjang ukur awal L_o dalam persen

CATATAN Untuk benda uji proporsional, panjang ukur awal tidak ekuivalen dengan $5{,}65\sqrt{S_o}$ [1)] (dimana, *So* luas penampang pada bagian paralel), simbol A harus ditambahkan dengan bentuk *subscript* sebagai tanda bahwa koefisien *proporsionality* digunakan.

$A_{11,3}$: Persen elongasi setelah patah pada panjang ukur $11{,}3\sqrt{S_o}$

[1)]: $5{,}65\sqrt{S_o} = 5\sqrt{\frac{4\,S_o}{\pi}}$

Untuk benda uji yang tidak proporsional (lihat Lampiran A), simbol A harus ditambahkan dengan bentuk subscript sebagai tanda bahwa panjang ukur awal digunakan, ditunjukkan dalam mm.

$A_{80\,mm}$: persen elongasi setelah patah pada panjang ukur 80 mm

3.9
regangan total setelah putus (A_t)
rasio total perpanjangan (perpanjangan elastis ditambah perpanjangan plastis ekstensiometer) pada beban putus, terhadap panjang ukur ekstensiometer L_e dalam persen (lihat Gambar 1)

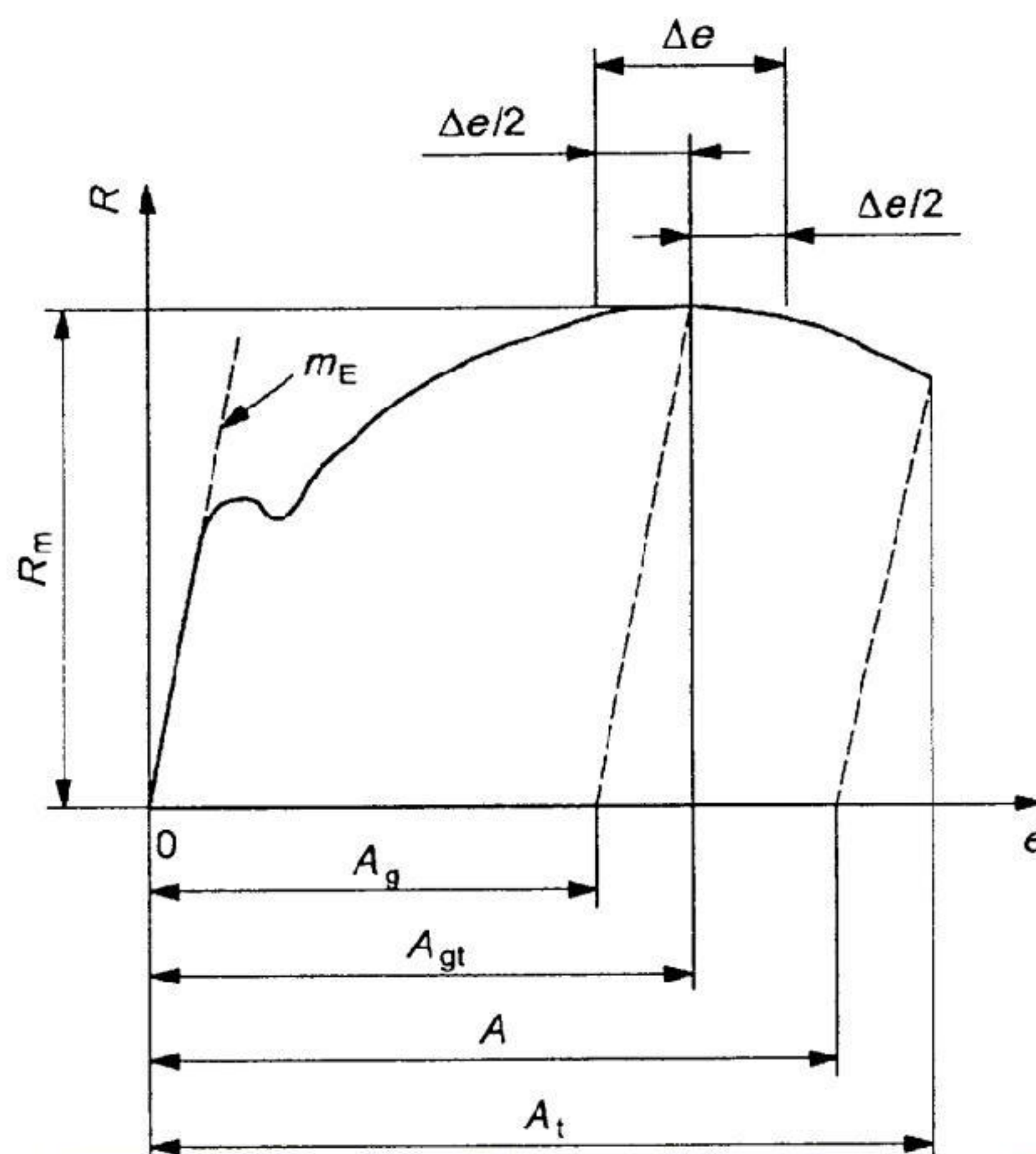
3.10
regangan total pada beban maksimum (A_{gt})
rasio total perpanjangan (perpanjangan elastis ditambah perpanjangan plastis ekstensiometer) pada beban maksimum, terhadap panjang ukur ekstensiometer L_e dalam persen (lihat Gambar 1)

3.11
regangan plastis pada beban maksimum (A_g)
rasio perpanjangan plastis pada beban maksimum, terhadap panjang ukur ekstensiometer L_e dalam persen (lihat Gambar 1)

3.12
regangan titik luluh/*yield point* (A_e)
rasio perpanjangan antara awal meluluh dengan awal *workhardening* yang seragam pada bahan yang titik luluhnya tidak kontinu (*discontinuous yielding*), terhadap panjang ukur ekstensiometer L_e dalam persen (lihat Gambar 7)

3.13
panjang ukur ekstensiometer (L_e)
panjang ukur ekstensiometer sebelum digunakan untuk pengukuran perpanjangan

CATATAN Untuk pengukuran titik luluh dan kuat tahan (*proof strength*), panjang ukur ekstensiometer L_e harus meregang sepanjang mungkin pada bagian paralel benda uji. Pada umumnya, minimum L_e harus lebih besar dari 0,50L_o tapi kurang dari 0,90L untuk memastikan ekstensiometer dapat mendeteksi semua luluh yang terjadi pada benda uji. Lebih lanjut, untuk pengukuran parameter "pada" atau "setelah mencapai" beban maksimum, L_e harus kira-kira sama dengan L_o.

3.14
perpanjangan *(extension)*
penambahan panjang ukur ekstensiometer L_e pada setiap kejadian pada pengujian

A	:	persen elongasi setelah putus (diukur dengan ekstensiometer atau langsung diukur pada benda uji)
A_g	:	regangan elastis pada beban maksimum
A_{gt}	:	regangan total pada beban maksimum
A_t	:	regangan total setelah putus
e	:	regangan
m_E	:	*slope* (kemiringan) elastis pada kurva tegangan-regangan
R	:	tegangan
R_m	:	kuat tarik
Δe	:	perpanjangan *plateu*

Gambar 1 – Definisi perpanjangan

3.15
regangan
rasio penambahan panjang ukur ekstensiometer L_e, terhadap panjang ukur ekstensiometer dalam persen

3.16
regangan permanen
rasio penambahan panjang ukur ekstensiometer L_e setelah pelepasan tegangan tertentu, terhadap panjang ukur ekstensiometer dalam persen

3.17
tingkat regangan (e_{Le})
penambahan regangan per waktu diukur dari panjang ukur ekstensiometer

3.18
perkiraan tingkat regangan melebihi panjang paralel (e_{Lc})
penambahan regangan per waktu panjang paralel L_c benda uji dihasilkan berdasarkan kecepatan penarikan v_c dan panjang paralel benda uji

3.19
kecepatan penarikan/*crosshead separation* (v_c)
pergerakan *crosshead* per satuan waktu

3.20
laju tegangan ($\acute{R}$)
penambahan tegangan per satuan waktu

CATATAN laju tegangan harus digunakan hanya pada bagian elastis

3.21
persen reduksi luas penampang (Z)
rasio perubahan luas penampang maksimum (S_o – S_u) yang terjadi selama pengujian, terhadap luas penampang awal S_o dalam persen

$$Z = \frac{S_o - S_u}{S_o} \; x \; 100\%$$

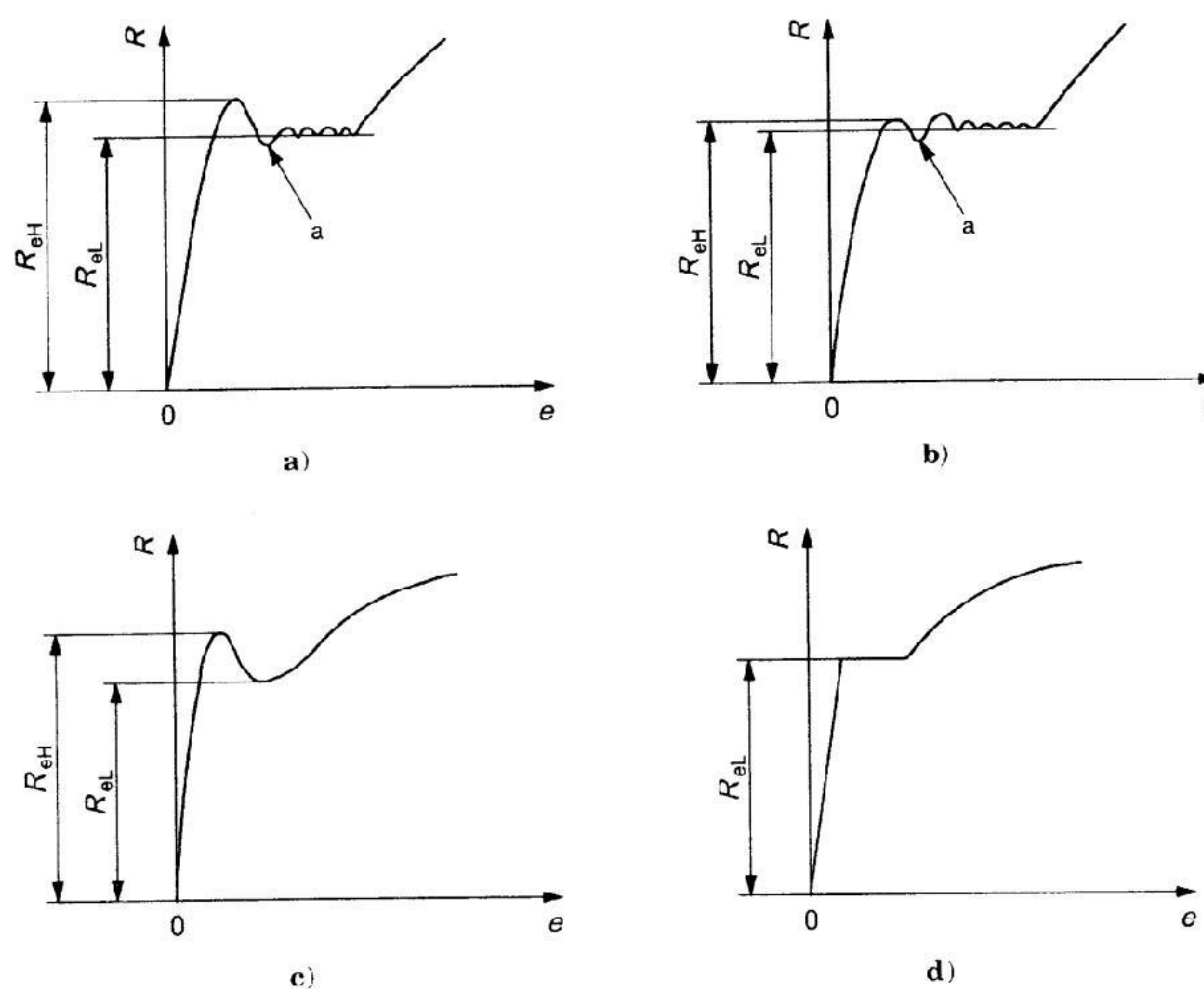
3.22
beban maksimum (F_m)
- beban tertinggi yang dapat ditahan benda uji selama pengujian pada bahan yang menunjukan titik luluhnya diskontinu (*discontinuous yielding*) (lihat Gambar 7 a))
- beban tertinggi yang dapat ditahan benda uji setelah dimulainya *workhardening* untuk bahan yang menunjukan titik luluh diskontinu (*discontinuous yielding*) (lihat Gambar 7 b))

3.23
tegangan (R)
gaya dibagi luas penampang awal S_o benda uji di setiap kejadian pada pengujian

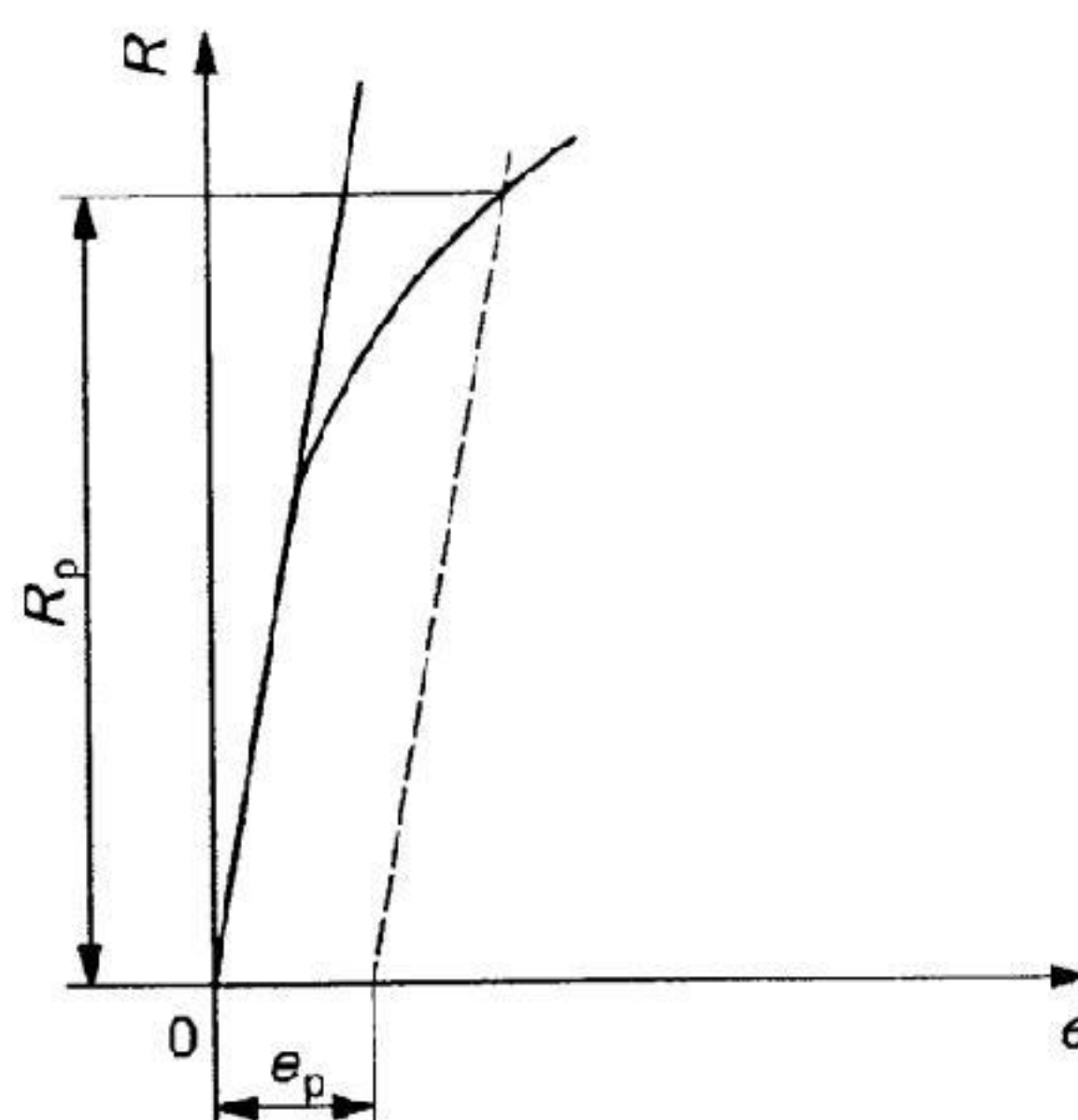
3.24
kuat tarik (R_m)
tegangan terhadap beban maksimum F_m

3.25
kuat luluh (titik luluh)
ketika bahan logam menunjukan fenomena luluh, tegangan terhadap titik dicapai selama pengujian pada deformasi plastis terjadi tanpa adanya penambahan beban

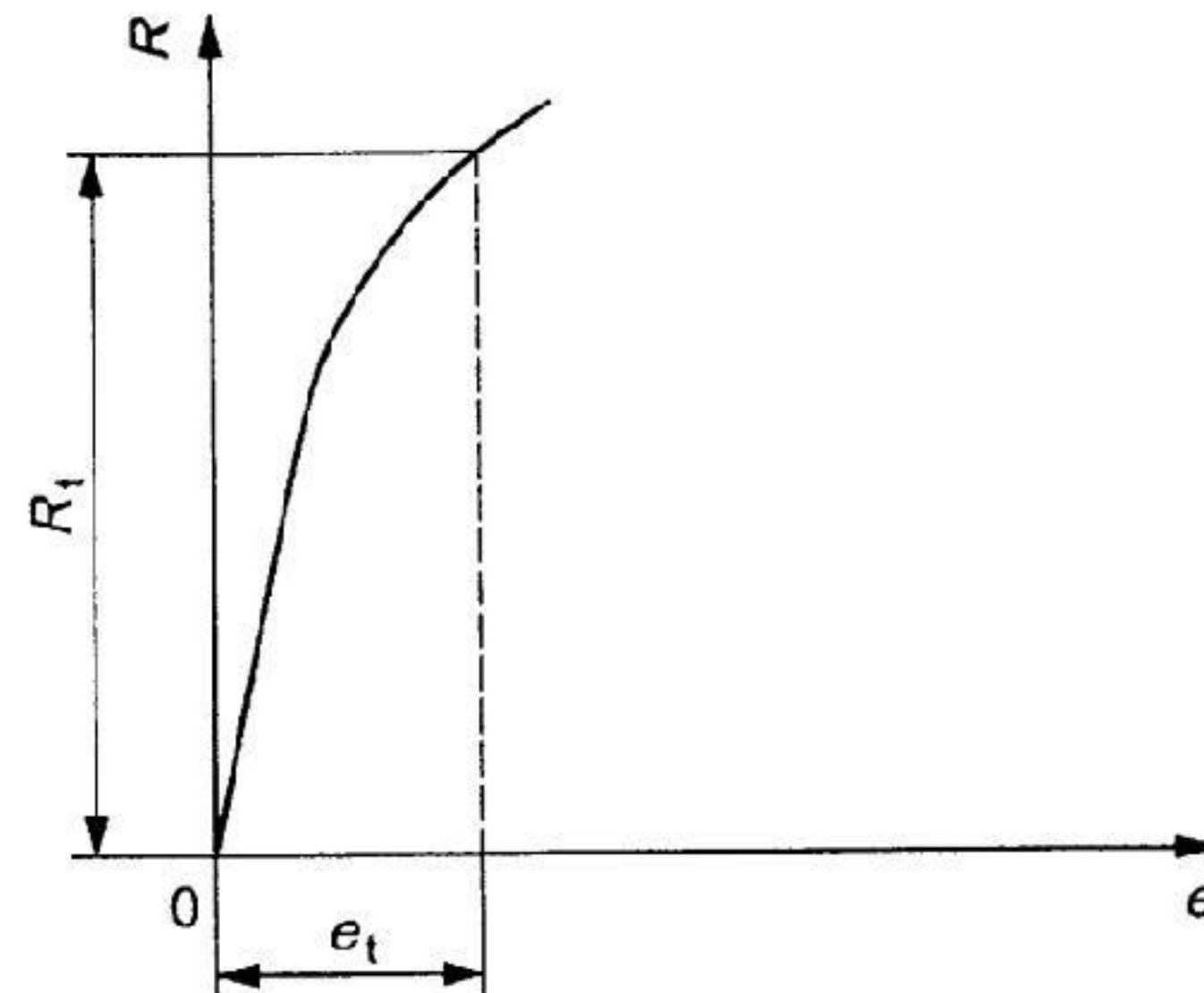
3.26
kuat luluh atas/titik luluh atas (R_{eH})
nilai maksimum tegangan luluh terhadap penurunan beban pertama kali (Gambar 2)

3.27
kuat luluh bawah/titik luluh bawah (R_{eL})
nilai minimum tegangan selama luluh plastis, dengan mengabaikan efek transien (Gambar 2)

e : regangan
R : tegangan
R_{eH} : kuat luluh atas/titik luluh atas
R_{eL} : kuat luluh bawah/titik luluh bawah
a : inisiasi efek transien

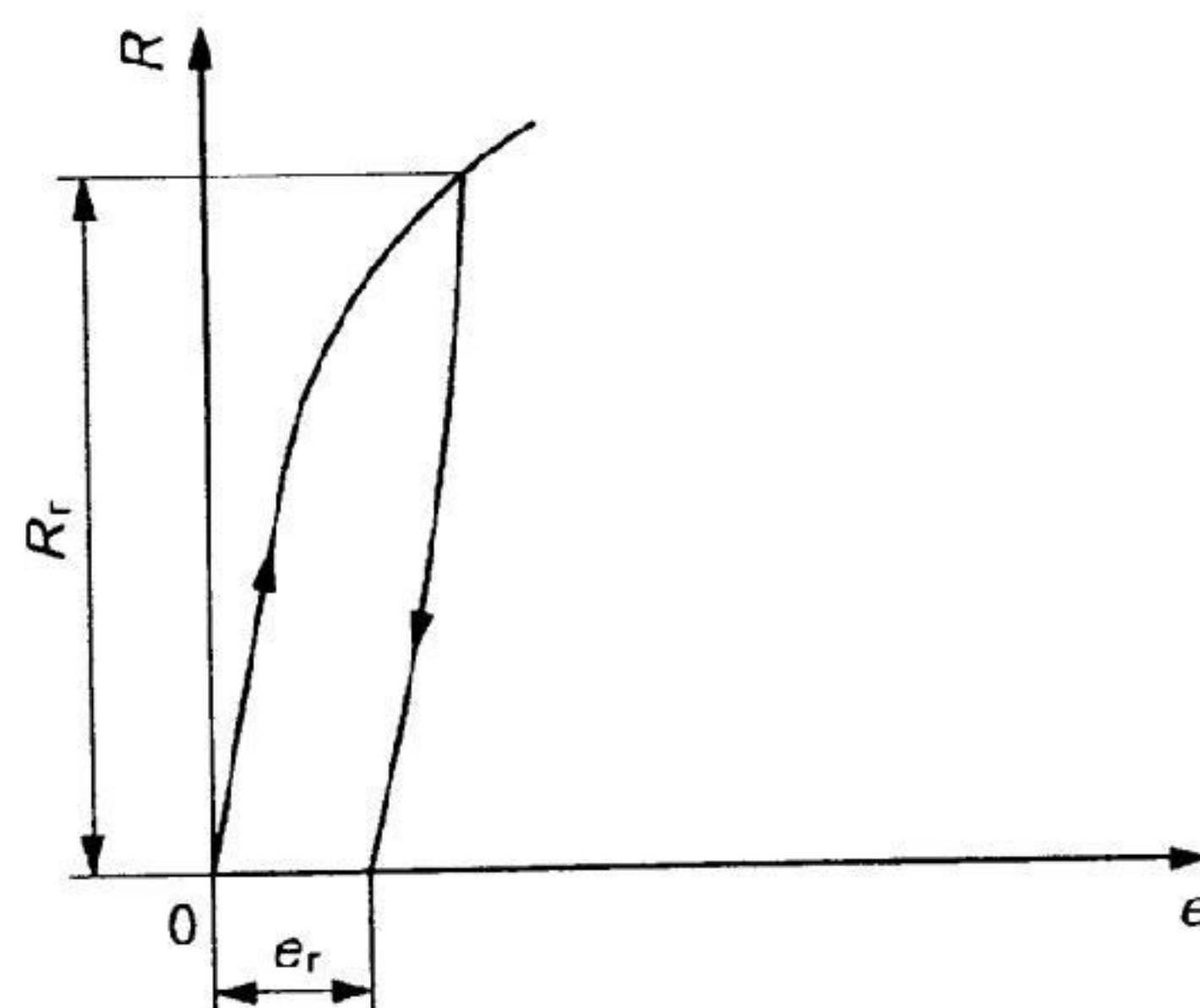
Gambar 2 – Kuat luluh atas (titik luluh atas) dan kuat luluh bawah (titik luluh bawah)

3.28
kuat tahan, perpanjangan plastis (R_p)
tegangan dimana perpanjangan plastis sama dengan persen panjang ukur ekstensiometer L_e tertentu (lihat Gambar 3)

e : regangan
e_p : regangan plastis tertentu
R : tegangan
R_p : kuat tahan (perpanjangan plastis)

Gambar 3 – Kuat tahan (perpanjangan plastis)

3.29
kuat tahan *(proof strength)*, perpanjangan total (R_t)
tegangan pada perpanjangan total (perpanjangan elastis ditambah perpanjangan plastis ekstensiometer) (lihat Gambar 4)

e : regangan
e_t : regangan total tertentu
R : tegangan
R_1 : kuat tahan (perpanjangan total)

Gambar 4 – Kuat tahan (perpanjangan total)

3.30
kuat permanen yang ditetapkan/*permanent set strength* (R_r)
tegangan pada deformasi plastis persen elongasi permanen tertentu atau persen perpanjangan permanen, setelah pelepasan beban, ditunjukkan dalam panjang ukur awal L_o dan panjang ukur ekstensiometer L_e

e : regangan
e_t : regangan permanen yang ditetapkan
R : tegangan
R_r : kuat permanen yang ditetapkan

Gambar 5 – Kuat permanen yang ditetapkan

3.31
patah *(fracture)*, putus *(rupture)*
fenomena dimana terjadi pemisahan total benda uji

3.32
benda uji proporsional
benda uji dengan bentuk sama secara geometris dan menentukan ukuran-ukuran yang penting sehingga proporsional dengan luas penampang bagian paralel

3.33
benda uji tidak proporsional
benda uji yang memiliki bentuk tetap tidak tergantung dari luas penampang bagian paralel

3.34
modulus elastisitas (*E*)
nilai yang didapat dari tegangan elastis dibagi oleh regangan elastis pada tegangan elastis yang bersangkutan

4 Simbol dan penandaan

Simbol dan penandaan seperti pada Tabel 1.

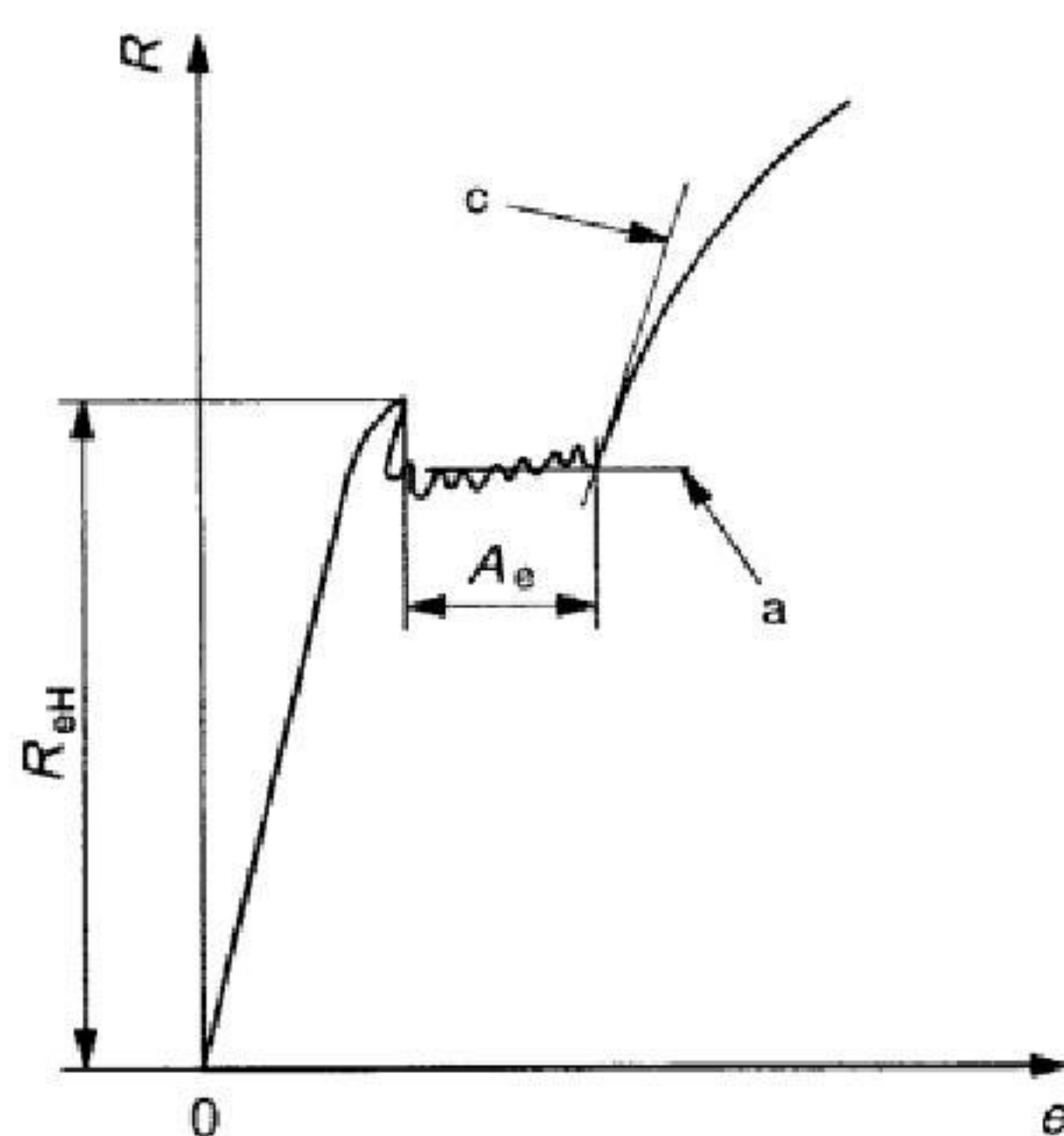
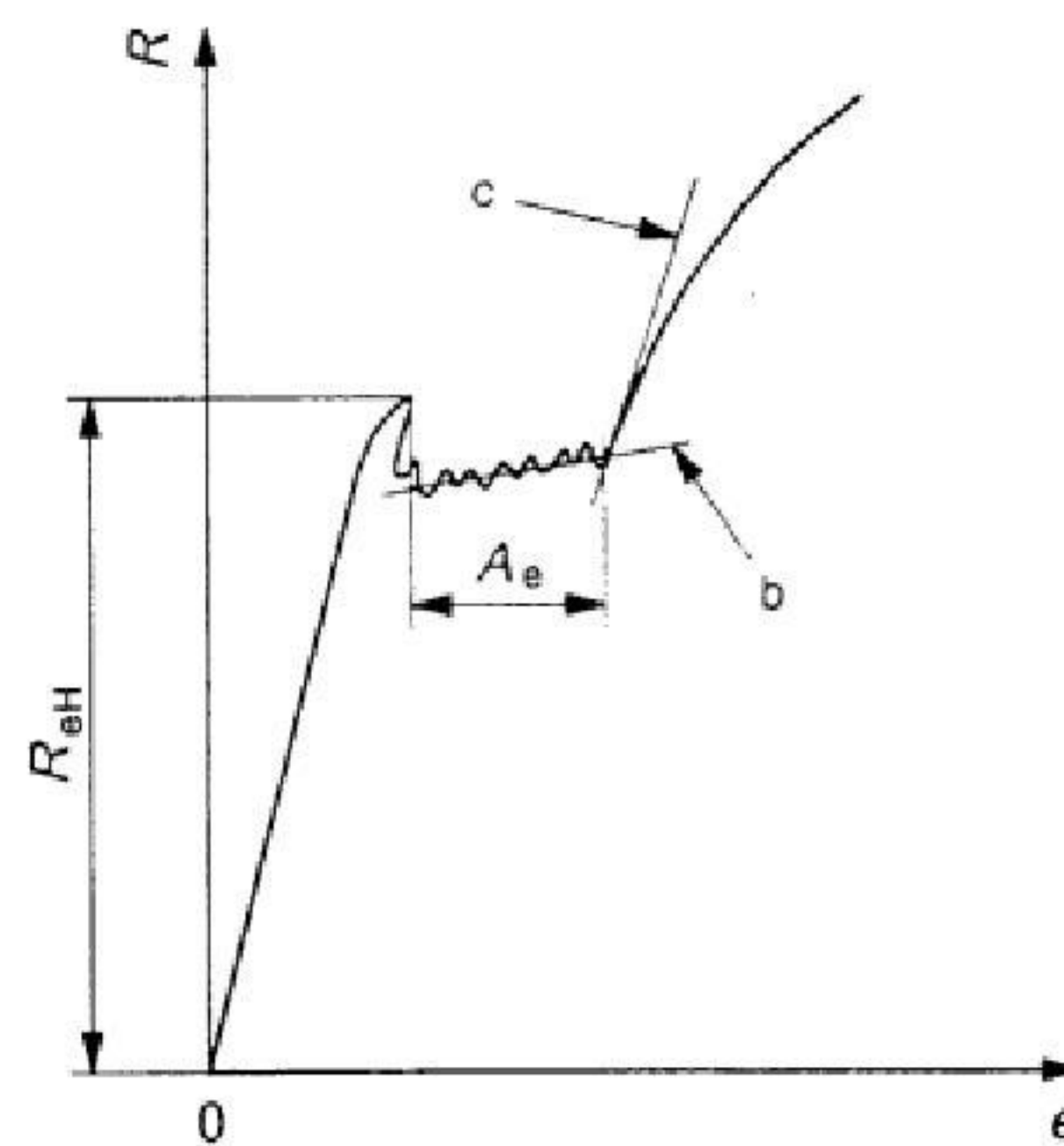
Tabel 1 - Simbol dan penandaan

Simbol	Satuan	Penandaan
		Benda uji
a_o	mm	Ketebalan benda uji
b_o	mm	Lebar bagian paralel pada benda uji *flat*, lebar rata-rata pada benda uji strip yang diambil dari *tube* atau lebar kawat *flat* sebelum pengujian
d_o	mm	Diameter (atau lebar pada flat) pada bagian paralel benda uji bentuk batang, diameter kawat atau diameter dalam tube sebelum pengujian
D_o	mm	Diameter luar *tube* sebelum pengujian
L_o	mm	Panjang ukur awal
L'_o	mm	Panjang ukur inisial/awal pada pengukuran A_{wn}
L_c	mm	Panjang paralel
L_e	mm	Panjang ukur ekstensiometer
L_1	mm	Panjang keseluruhan benda uji
L_u	mm	Panjang ukur akhir setelah putus
L'_u	mm	Panjang ukur akhir setelah putus pada pengukuran A_{wn}
S_o	mm^2	Luas penampang awal bagian paralel
S_u	mm^2	Luas penampang minimum setelah patah
k	-	Koefisien proporsional
Z	%	Persen reduksi luas penampang
		Elongasi
A	%	Persen elongasi setelah putus
A_{wn}	%	Persen elongasi plastis tanpa *necking*
		Perpanjangan
A_e	%	Regangan titik luluh
A_g	%	Regangan plastis pada beban maksimum (F_m)
A_{gt}	%	Regangan total pada beban maksimum (F_m)
A_t	%	Regangan total setelah putus
ΔL_m	mm	Perpanjangan pada beban maksimum
ΔL_f	mm	Perpanjangan pada putus

		Pengujian
e_{Le}	s^{-1}	Regangan
e_{Lc}	s^{-1}	Perkiraan regangan melebihi bagian paralel
$\acute{R}$	$MPa.s^{-1}$	Laju tegangan
v_c	$mm.s^{-1}$	Kecepatan penarikan/*crosshead separation*
		Beban
F_m	N	Beban maksimum
		Kuat luluh - Kuat tahan - Kuat tarik
E	Mpa[a)]	Modulus elastisitas
m	MPa	Kemiringan kurva tegangan-persen perpanjangan di setiap momen pengujian
m_E	MPa	Kemiringan elastis kurva tegangan-persen perpanjangan [b)]
R_{eH}	MPa	Kuat luluh atas (titik luluh atas)
R_{eL}	MPa	Kuat luluh bawah (titik luluh bawah)
R_m	MPa	Kuat tarik
R_p	MPa	Kuat tahan (perpanjangan plastis)
R_r	MPa	Kuat permanen yang ditetapkan
R_t	MPa	Kuat tahan (perpanjangan total)

CATATAN

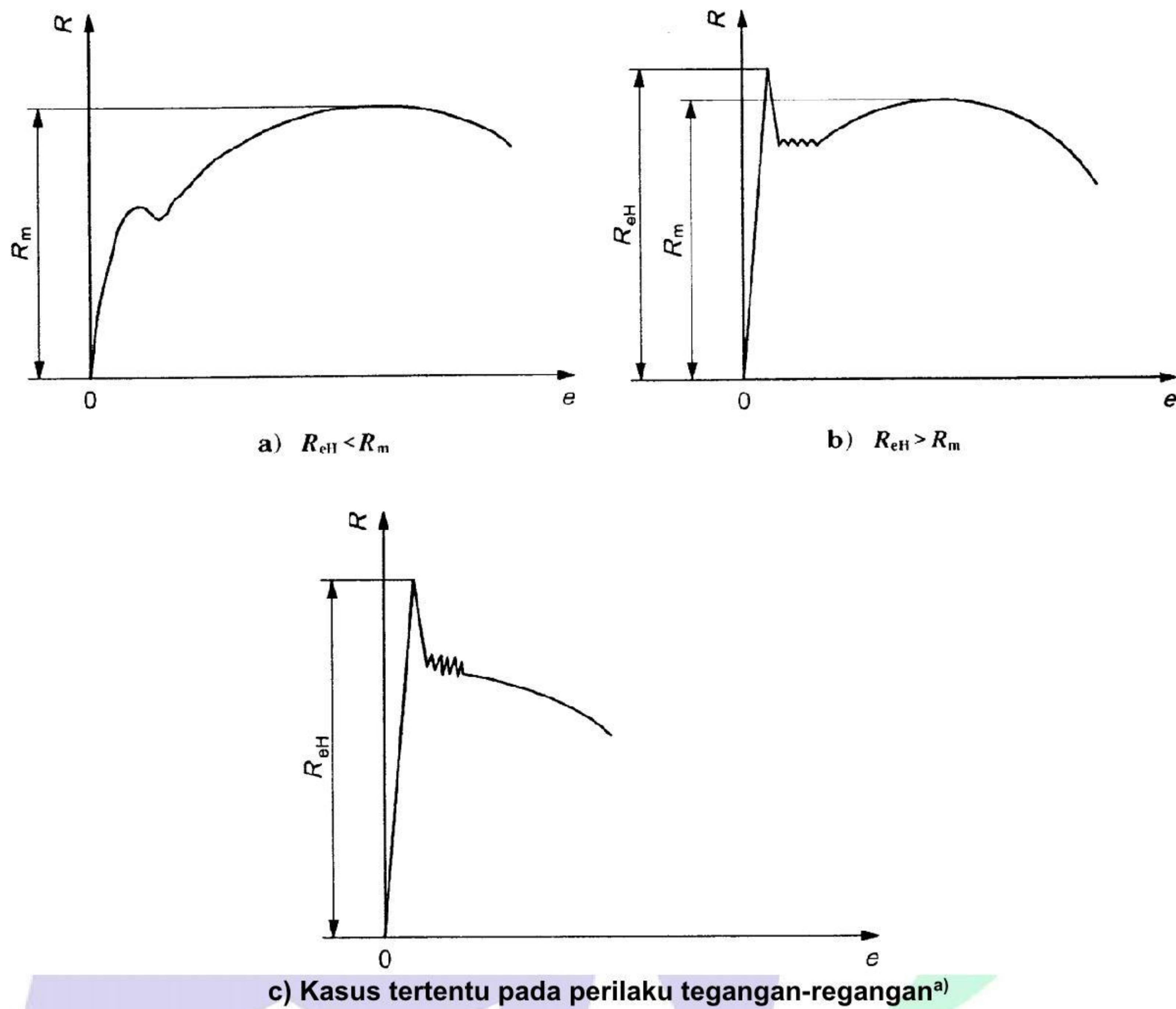
a) 1 MPa = 1 N/mm^2

b) Pada kurva tegangan-persen perpanjangan bagian elastis, nilai lengkungan kurva mungkin tidak mewakili modulus elastisitas. Nilai ini dapat disetujui dengan nilai modulus elastisitas, jika kondisi optimal (resolusi tinggi, bolak balik, posisi benda uji yang sempurna, dll) dapat digunakan.

a) Metode garis horizontal

b) Metode regresi

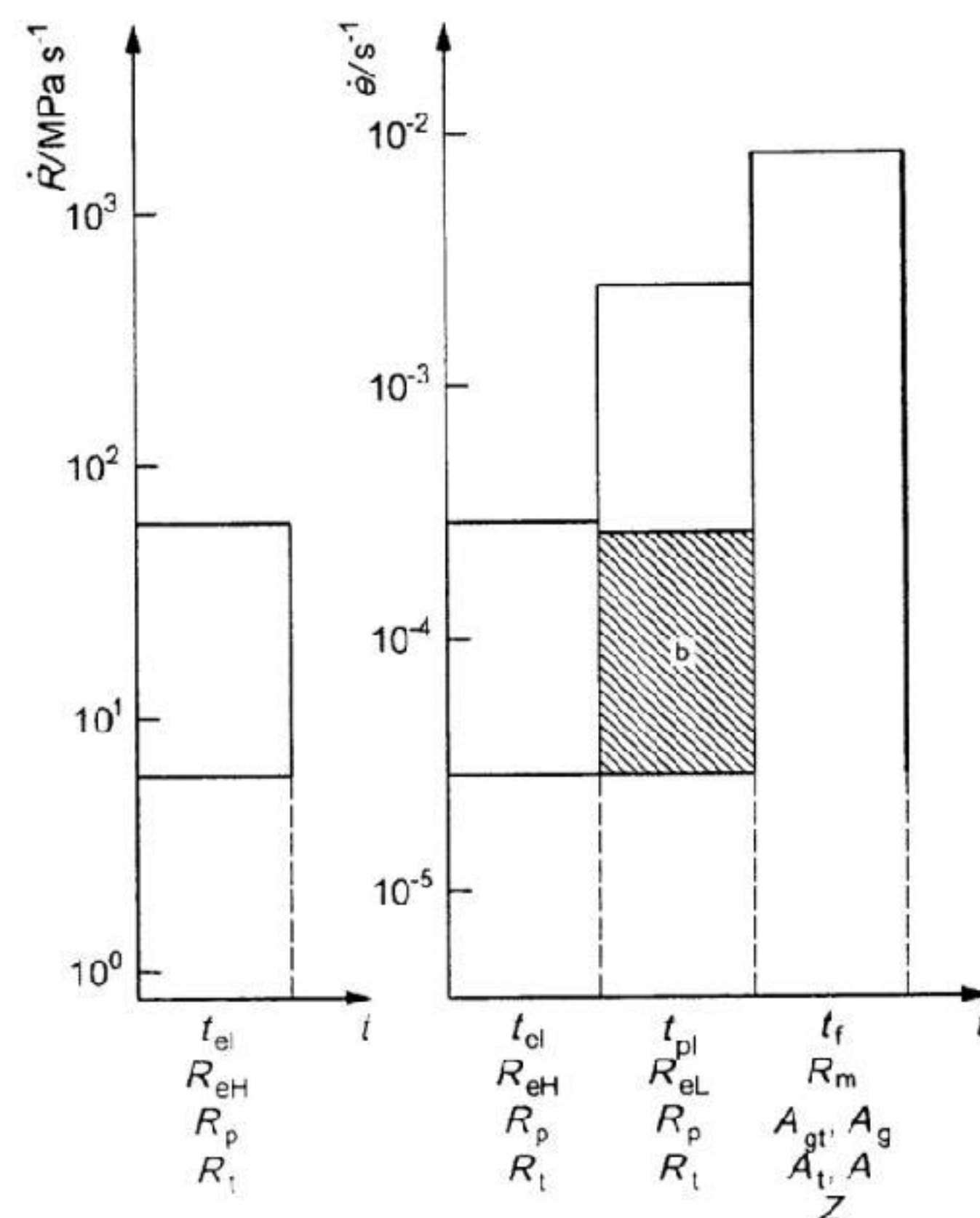
Ae : regangan titik luluh
e : regangan
R : tegangan
ReH : kuat luluh atas (titik luluh atas)
a : garis horizontal melalui titik akhir minimum sebelum *workhardening* yang seragam
b : garis regresi melalui rentang luluh sebelum *workhardening* yang seragam
c : garis penyesuaian kemiringan tertinggi kurva yang terjadi pada saat dimulainya *workhardening* yang seragam

Gambar 6 – Perbedaan metode evaluasi untuk regangan titik luluh A_e

a) $R_{eH} < R_m$ b) $R_{eH} > R_m$

c) Kasus tertentu pada perilaku tegangan-regangan[a)]

e	:	regangan
R	:	tegangan
R_{eH}	:	kuat luluh atas (titik luluh atas)
R_m	:	kuat tarik

CATATAN [a)] Untuk bahan yang menunjukkan perilaku ini, kuat tarik tidak ditentukan dengan standar ini.

Gambar 7 – Perbedaan tipe kurva tegangan-regangan untuk menentukan kuat tarik R_m

$\dot{e}$	:	tingkat regangan
$\dot{R}$	:	tingkat tegangan
t	:	lama waktu saat uji tarik
t_{el}	:	rentang waktu perilaku elastis untuk pengukuran parameter yang tertera pada Tabel 1
t_f	:	rentang waktu (biasanya hingga patah) untuk pengukuran parameter yang tertera pada Tabel 1
t_{pl}	:	rentang waktu perilaku plastis untuk pengukuran parameter yang tertera pada Tabel 1
b	:	rentang pengembangan untuk tingkat lebih rendah, jika mesin uji tidak dapat mengendalikan tingkat regangan

CATATAN Tingkat regangan elastis dihasilkan dari tingkat tegangan dengan menggunakan *Modulus Young* = 210.000 MPa (Baja).

Gambar 8 – Ilustrasi tingkat regangan yang digunakan selama pengujian jika R_{eH}, R_{eL}, R_p, R_t, R_m, A_g, A_{gt}, A, A_t dan Z diukur

5 Bentuk, nomor dan ukuran benda uji

5.1 Berdasarkan bentuk dan ukurannya benda uji tarik dibedakan menjadi 14 macam dengan nomor benda uji dari nomor 1 sampai dengan nomor 14, tipe benda uji ini dikelompokkan menjadi benda uji proporsional dan benda uji tidak proporsional sesuai Tabel 2.

Tabel 2 – Pengelompokkan benda uji proporsional dan tidak proporsional

Bentuk benda uji	Pelat	Batang	Pipa (*tube*)	*Strip*	Kawat
Benda uji proporsional	No. 14B	No. 2, No. 14A	No.14C	No. 14B	-
Benda uji tidak proporsional	No. 1A, No. 1B, No. 5, No. 13A, No. 13B	No. 4, No. 10, No. 8A, No. 8B, No. 8C, No. 8D	No.11	No. 12A, No. 12B, No.12C	No. 9A, No. 9B
CATATAN Benda uji No. 1B digunakan jika benda uji yang ditunjukkan pada Tabel 3 tidak sesuai untuk digunakan					

5.2 Pemilihan benda uji yang diambil dari benda uji No. 1 sampai No. 14 harus sesuai dengan persyaratan standar produk, tetapi dianjurkan agar satu tipe benda uji tersebut harus dipilih berdasarkan ketentuan yang diberikan dalam Tabel 3 tergantung pada bentuk dan ukuran produk-produk logam tersebut.

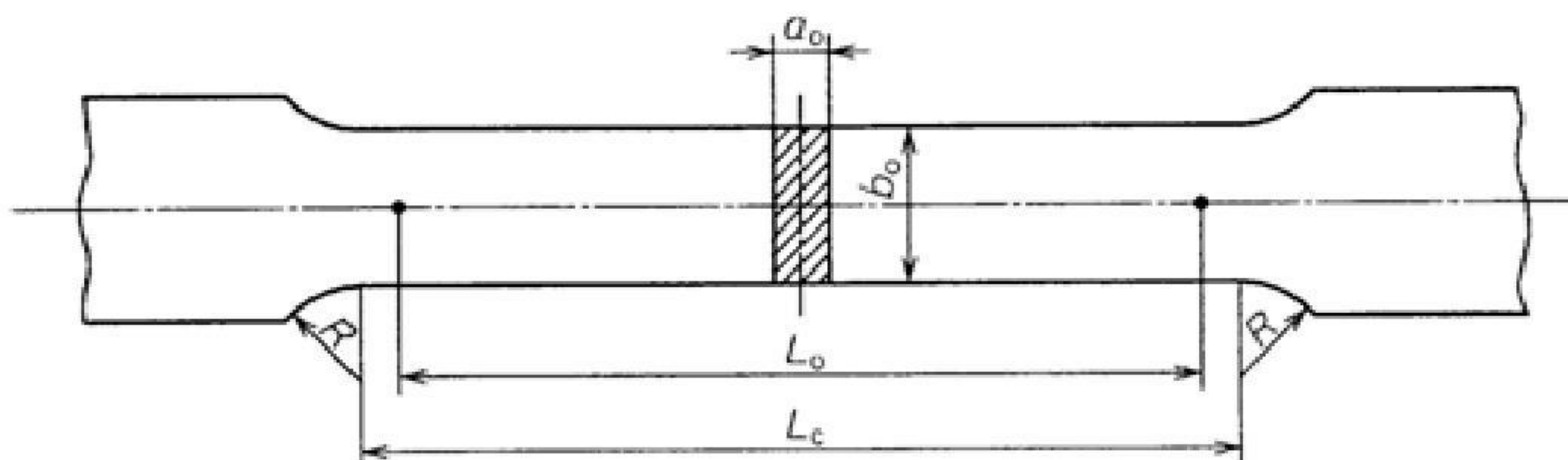
Tabel 3 – Pengelompokkan benda uji sesuai bentuk produk

Produk		Benda uji		Keterangan
Bentuk	**Ukuran**	**Proporsional**	**Tidak Proporsional**	
Pelat, lembaran, profil, strip	t > 40 mm	No. 14A	No. 4, No. 10	Bentuk batang
		No. 14B	-	Bentuk pelat
	20 < t ≤ 40 mm	No. 14A	No. 4, No. 10	Bentuk batang
		No. 14B	No. 1 A	Bentuk pelat
	6 < t ≤ 20 mm	No. 14B	No. 1 A No. 5	Bentuk pelat
	3 < t ≤ 6 mm		No. 5 No. 13A No. 13B	
	t ≤ 3 mm	-		
Batang	-	No. 2 No. 14A	No. 4 No. 10	-
Kawat	-	-	No. 9A No. 9B	-
Pipa (*tube*)	D_o kecil	No. 14C	No. 11	Bentuk pipa
	D_o ≤ 50 mm	No. 14B	No.12A	Bentuk strip
	50 < D_o ≤ 170 mm		No. 12B	
	D_o <170 mm		No. 12C	
	Dia pipa ≤ 200 mm	No. 14B	No. 5	Bentuk pelat atau strip
	Pipa dinding tebal	No. 14A	No. 4	Bentuk batang
Hasil cor (*casting*)	-	No. 14A	No. 4, No. 10	-
	-	-	No. 8A No. 8B No. 8C No. 8D	digunakan jika nilai elongasi tidak diperlukan benda uji dibuat dari hasil cor
Hasil tempa (*forging*)		No. 14A	No. 4, No. 10	-

CATATAN
t tebal pelat, lembaran, profil atau strip
D_o diameter luar pipa

6 Bentuk dan ukuran benda uji

6.1 Benda uji No. 1

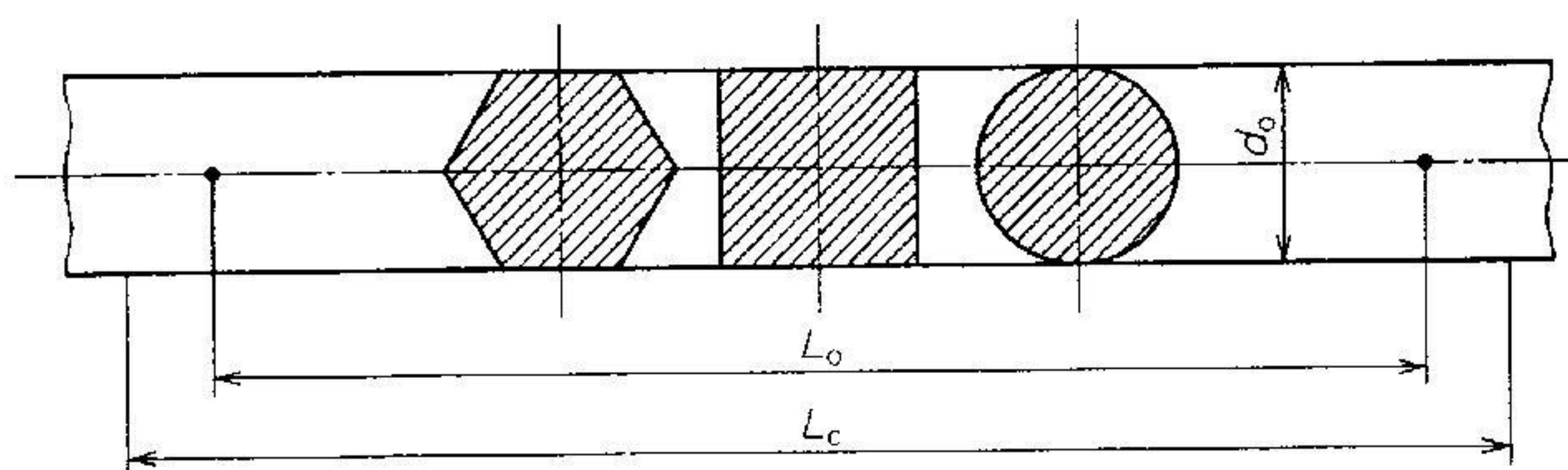
Bentuk dan ukuran benda uji No. 1 seperti pada Gambar 9 dan Tabel 4.

Gambar 9 – Benda uji No. 1

Tabel 4 – Ukuran benda uji No. 1

Satuan: mm

Nomor benda uji	Lebar b_o	Panjang ukur L_o	Panjang paralel L_c	Radius transisi R	Tebal a_o
1 A	40 ± 0,7	200	Min 220	Min 25	Sesuai tebal bahan
1 B	25 ± 0,7	200	Min 215	Min 25	

6.2 Benda uji No. 2

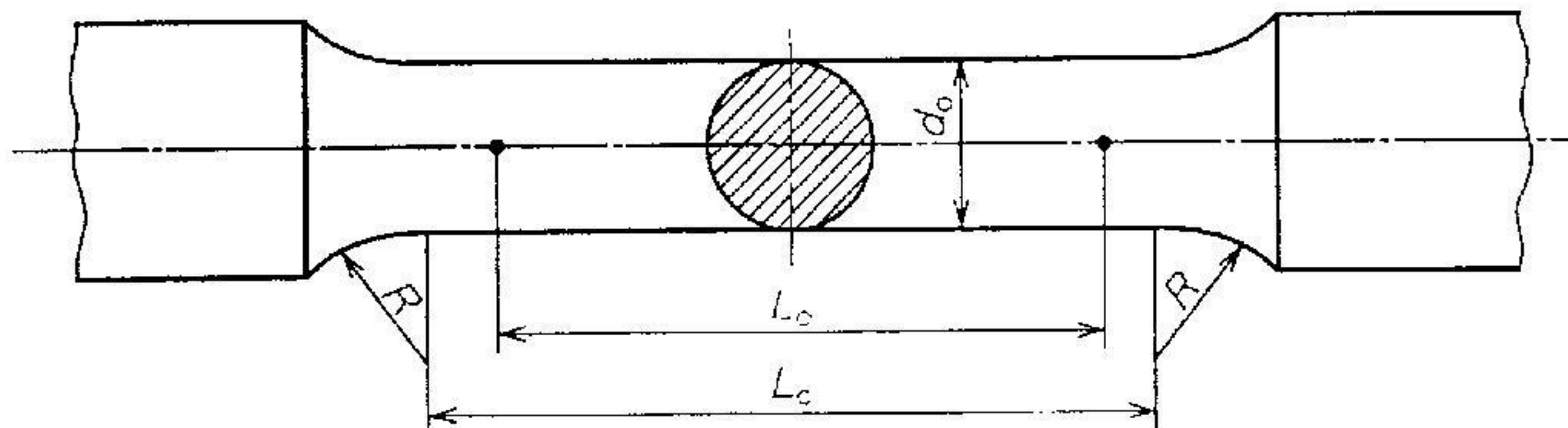
Bentuk dan ukuran benda uji No. 2 seperti pada Gambar 10 dan Tabel 5.

Gambar 10 – Benda uji No. 2

Tabel 5 – Ukuran benda uji No. 2

Satuan: mm

Diameter atau lebar penampang d_o	Panjang ukur L_o	Panjang paralel L_c
Sesuai ukuran bahan	8 d_o	Min (L_o + 2d_o)
CATATAN Benda uji ini digunakan untuk $d_o \leq 25$ mm.		

6.3 Benda uji No. 4

Bentuk dan ukuran benda uji No. 4 seperti pada Gambar 11 dan Tabel 6.

Gambar 11 – Benda uji No. 4

Tabel 6 – Ukuran benda uji No. 4

Satuan: mm

Diameter d_o	Panjang ukur L_o	Panjang paralel L_c	Radius transisi R
14 ± 0,5	50	Min 60	Min 15

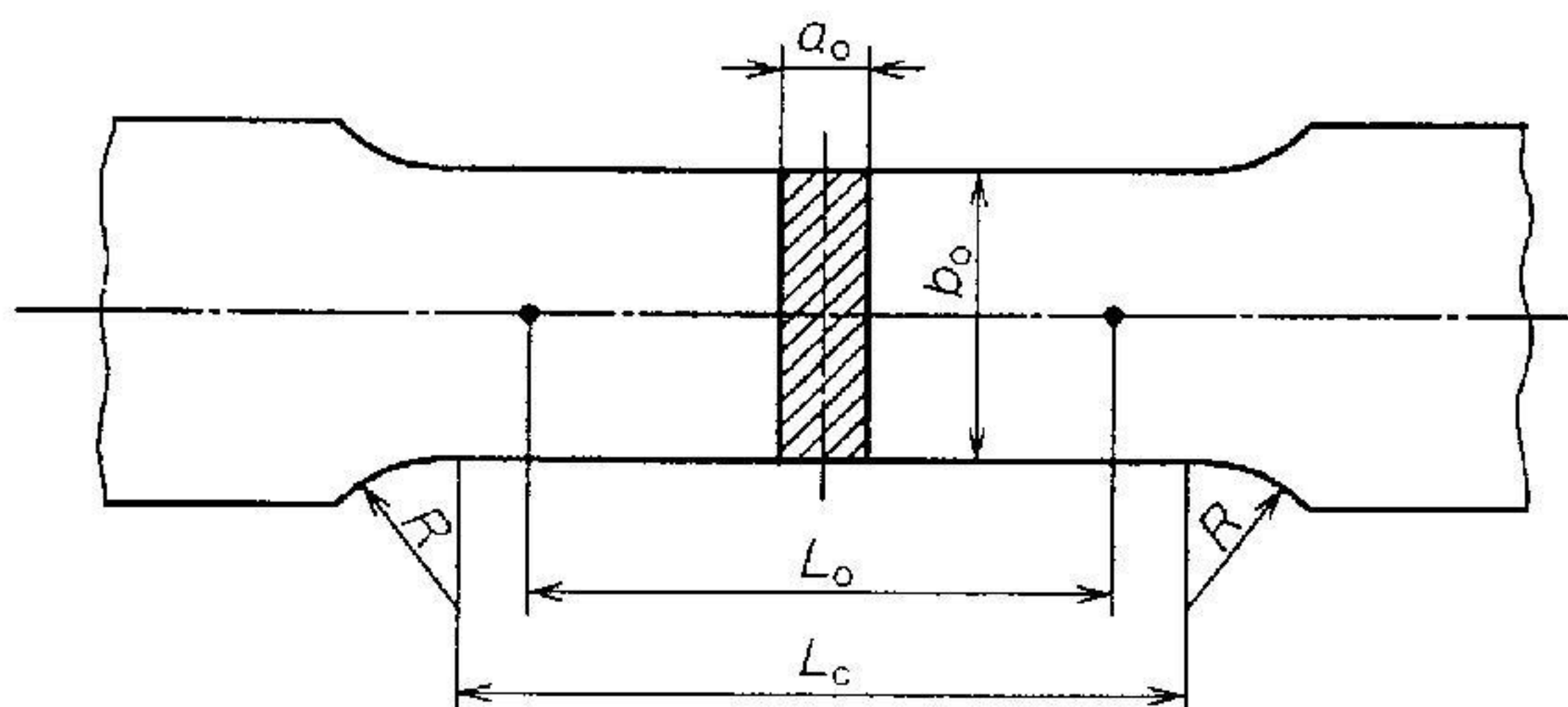
CATATAN
1. Bagian paralel benda uji ini harus dipreparasi dengan menggunakan mesin.
2. Apabila ukuran benda uji tidak memenuhi ketentuan pada Tabel ini, maka diameter bagian paralel dan panjang ukurnya harus ditentukan dengan rumus berikut:

$$L_o = 4\sqrt{So}$$

dimana:

S_O adalah luas penampang bagian paralel

6.4 Benda uji No. 5

Bentuk dan ukuran benda uji No. 5 seperti pada Gambar 12 dan Tabel 7.

Gambar 12 – Benda uji No. 5

Tabel 7 – Ukuran benda uji No. 5

Satuan: mm

Lebar paralel[b)] b_o	Toleransi perubahan dimensi bagian paralel[c)]	Panjang ukur[a)] L_o	Panjang paralel[a)] L_c	Radius transisi R
25 ± 0,7	0,10	50	Min 60	20 – 30

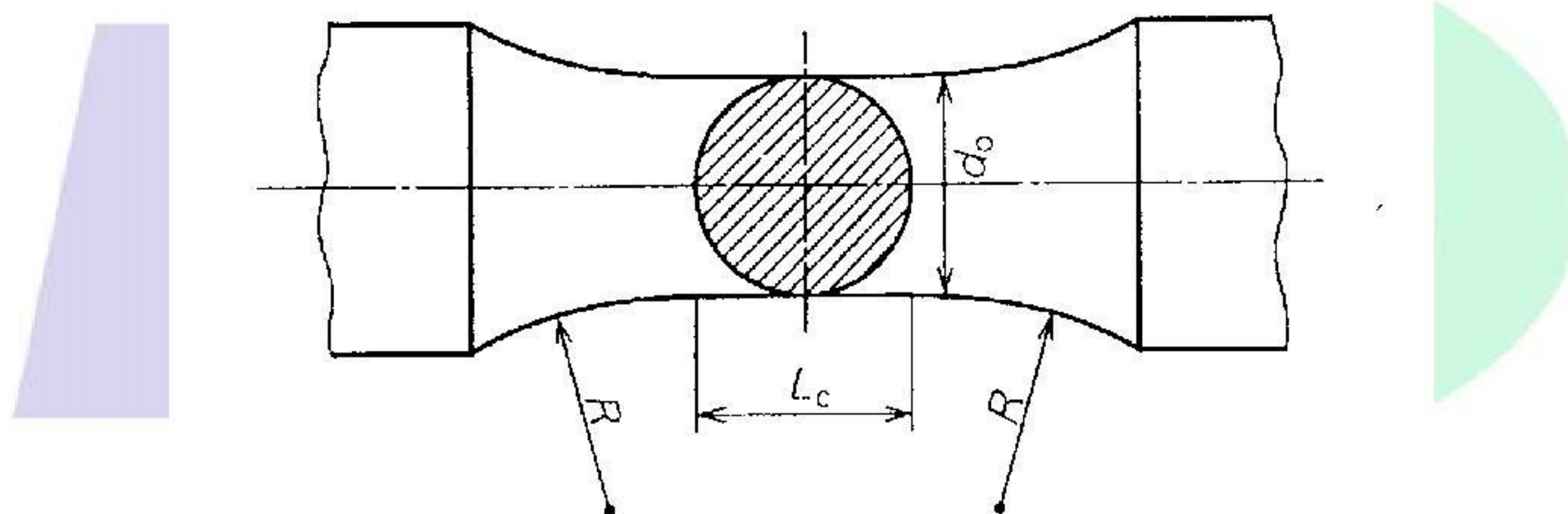
CATATAN

a) Rasio L_o / b_o sangat kecil jika dibandingkan dengan benda uji No. 13A dan No. 13B sehingga hasil pengukuran (nilai absolut dan rentang variasi) yang dihasilkan dengan menggunakan benda uji ini dapat berbeda dengan benda uji lainnya.

b) Rentang lebar yang diperbolehkan. Benda uji harus dipersiapkan dalam rentang toleransi ini.

c) Nilai maksimum perubahan dimensi yang diperbolehkan pada keseluruhan panjang paralel L_o benda uji.

6.5 Benda uji No. 8

Benda uji ini untuk menguji produk-produk hasil cor (*casting*) yang dibentuk menjadi silinder dengan dimesin sehingga bentuk dan ukurannya seperti pada Gambar 13 dan Tabel 8.

Gambar 13 – Benda uji No. 8

Tabel 8 – ukuran benda uji No. 8

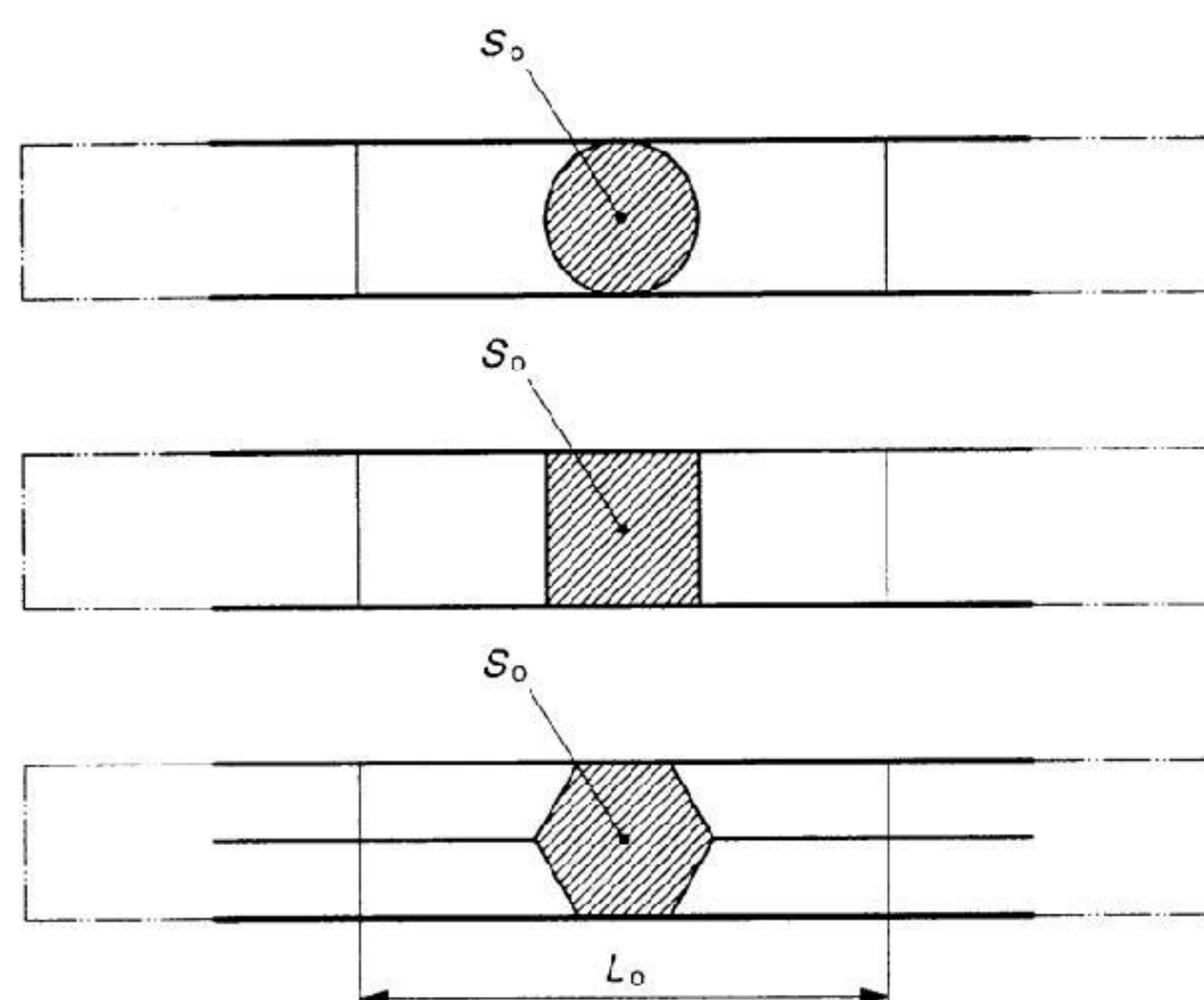
Satuan: mm

Nomor Benda uji	Diameter hasil cor	Panjang paralel L_c	Diameter d_o	Radius transisi R
8 A	13	8	8	Min 16
8 B	20	12,5	12,5	Min 25
8 C	30	20	20	Min 40
8 D	40	32	32	Min 64

CATATAN

Benda uji ini hanya digunakan untuk uji tarik produk seperti besi tuang yang tidak memerlukan nilai elongasi

6.6 Benda uji No. 9

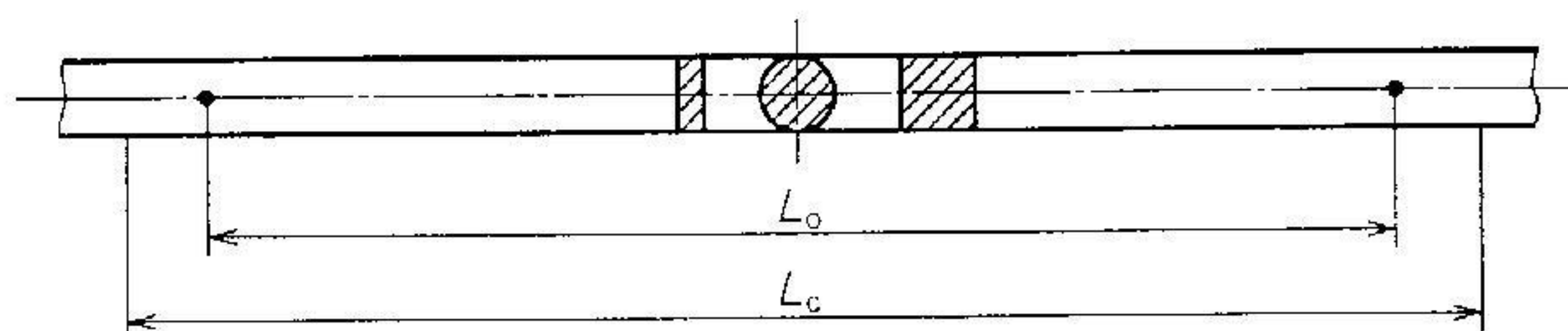
Benda uji ini pada umumnya untuk produk yang tidak perlu dilakukan permesinan seperti kawat dan batang dengan diameter atau lebar melintang kurang dari 4 mm (lihat Gambar 14). Jika benda uji dalam bentuk gulungan, penanganan dengan hati-hati ketika proses pelurusan.

L_o Panjang ukur
S_o luas penampang

CATATAN S_o dapat dihitung dengan menggunakan rumus:

$$S_o = \frac{1000\ x\ m}{\rho\ x\ L_t}$$

dimana: m massa benda uji (g)
ρ berat jenis bahan benda uji (g/cm^3)
L_t panjang total benda uji (mm)

Gambar 14 – Benda uji bentuk batangan dan kawat

Bentuk dan ukuran benda uji No. 9 seperti pada Gambar 15 dan Tabel 9.

Gambar 15 – Benda uji No. 9

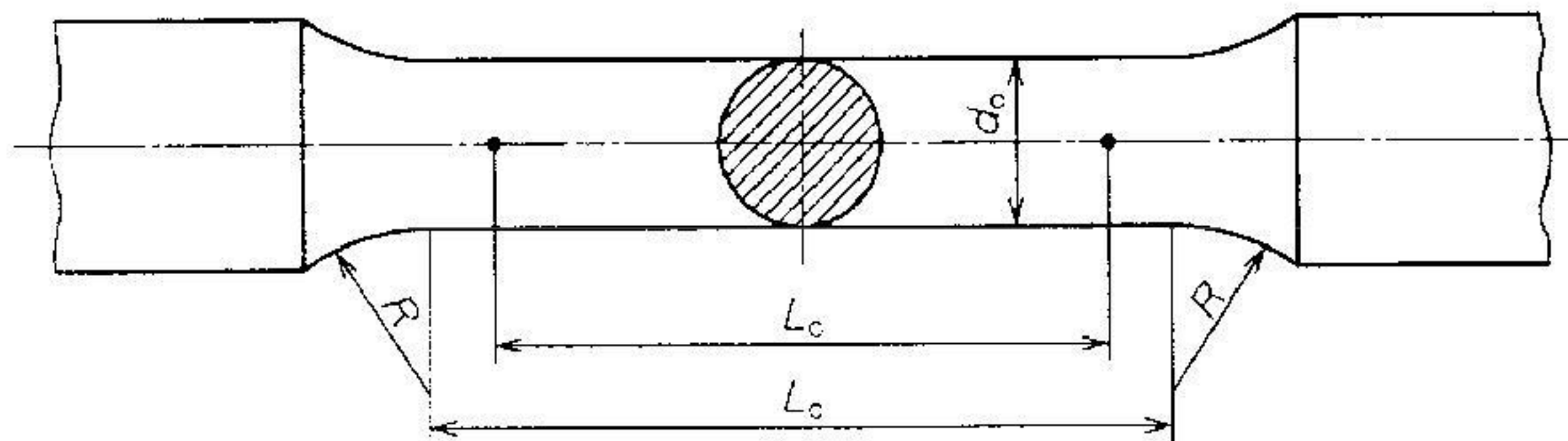
Tabel 9 – Ukuran benda uji No. 9

Satuan: mm

Nomor benda uji	Panjang ukur L_o	Jarak antar penjepit[a)]
9 A	100 ± 1	Min 150
9 B	200 ± 2	Min 250

CATATAN
[a)] Jika elongasi setelah putus tidak diperlukan, jarak antar penjepit dapat menggunakan persyaratan minimal 50 mm.

6.7 Benda uji No. 10

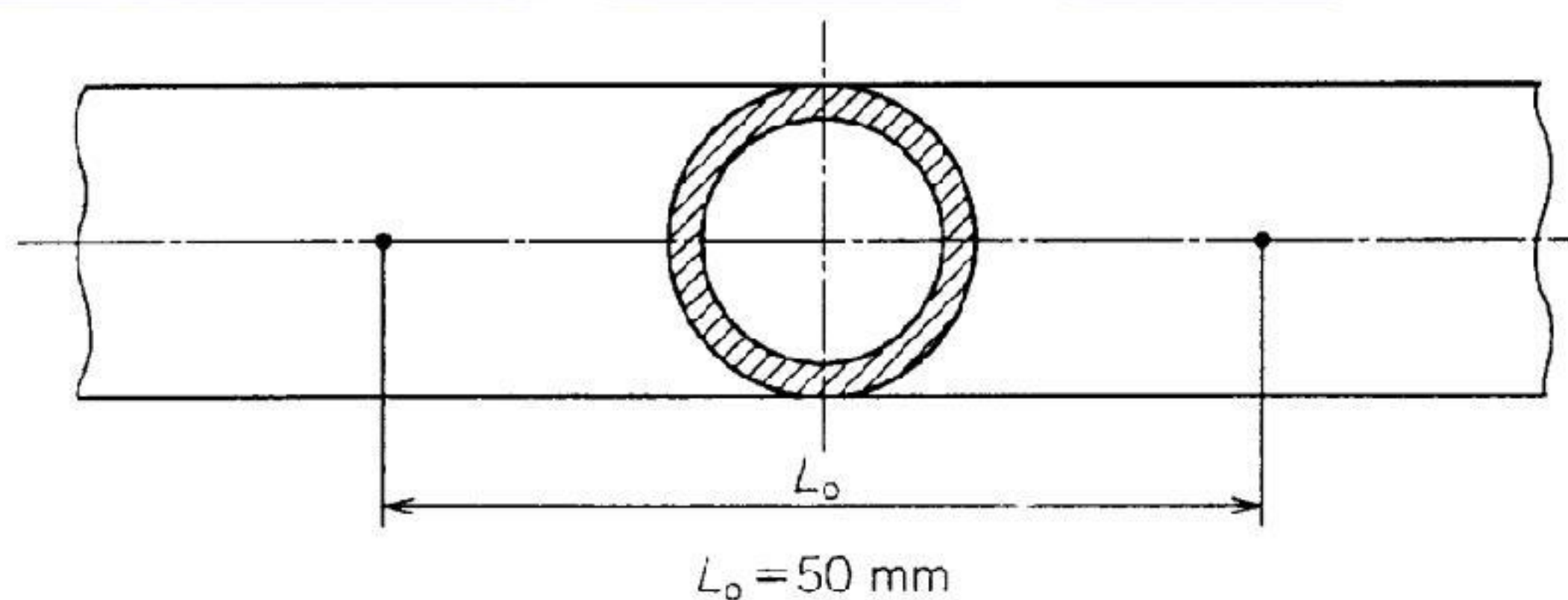
Bentuk dan ukuran benda uji No. 10 seperti pada Gambar 16 dan Tabel 10.

Gambar 16 – Benda uji No. 10

Tabel 10 – Ukuran benda uji No. 10

Satuan: mm

Diameter d_o	Panjang ukur L_o	Panjang paralel L_c	Radius transisi R
12,5 ± 0,5	50	Min 60	Min 15

6.8 Benda uji No. 11

Benda uji No. 11 digunakan untuk produk pipa (*tube*). Benda uji ini disumbat (*plugged*) di kedua ujungnya. Jarak antar masing-masing *plug* dan tanda alat ukur (*gauge*) terdekat harus lebih besar dari ¼D_o. Bentuk dan ukuran benda uji No. 11 seperti pada Gambar 17 dan Tabel 11.

Gambar 17 – Benda uji No. 11

Tabel 11 – Ukuran benda uji No. 11

Satuan: mm

Panjang ukur L_o	Panjang paralel
50	Min 100
CATATAN Benda uji ini dibuat dengan cara memotong tabung kemudian kedua ujungnya disumbat dengan logam	

6.9 Benda uji No. 12

Bentuk dan ukuran benda uji No. 12 seperti pada Gambar 18 dan Tabel 12.

Gambar 18 – Benda uji No. 12

Tabel 12 – Ukuran benda uji No. 12

Satuan: mm

Nomor benda uji	Lebar b_o	Panjang ukur L_o	Panjang paralel L_c	Radius transisi R	Tebal dinding a_o
12 A	19 ± 0,7	50	60	Min 15	Sesuai tebal pipa
12 B	25 ± 0,7	50	60	Min 15	
12 C	38 ± 0,7	50	60	Min 15	

CATATAN
Penampang bagian paralel benda uji ini harus tetap berbentuk busur yang dipotong dari bahan berbentuk pipa. Kedua ujung benda uji yang dijepit dipipihkan pada temperatur ruang.

6.10 Benda uji No. 13

Benda uji ini untuk produk tipis dengan ketebalan 0,1 mm hingga 3 mm. Bentuk dan ukuran benda uji No. 13 seperti pada Gambar 18 dan Tabel 13.

Gambar 18 – Benda uji No. 13

Tabel 13 – Ukuran benda uji No. 13

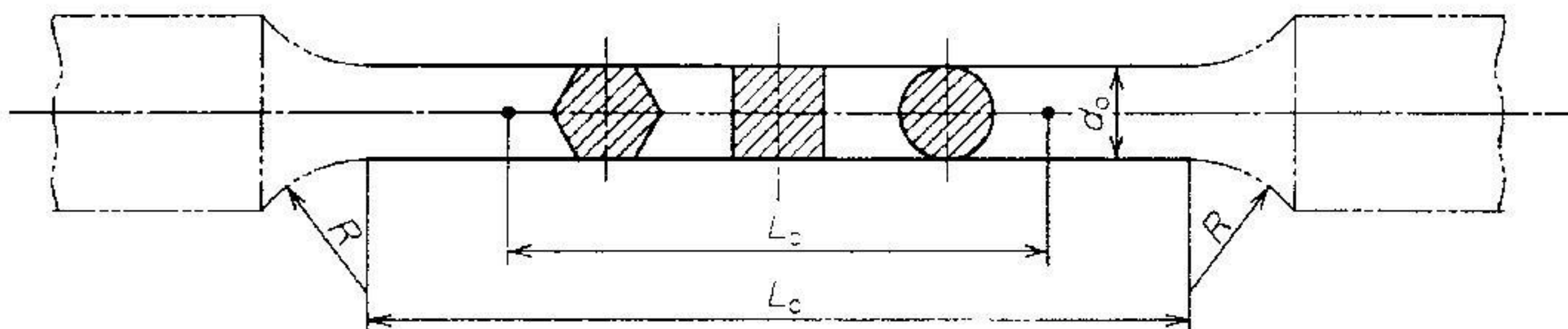
Satuan: mm

Nomor benda uji	Lebar paralel b_o	Toleransi perubahan dimensi bagian paralel[b)]	Panjang ukur L_o	Radius transisi R	Panjang paralel L_c		Panjang bebas minimum antar penjepit pada bagian paralel benda uji
					Min	Rekomen-dasi	
13B	12,5 ± 0,5[a)]	0,06	50	20 – 30	57	75	87,5
13A	20 ± 0,5[a)]	0,10	80	20 – 30	90	120	140

CATATAN
a) Rentang lebar yang diperbolehkan. Benda uji harus dipersiapkan dalam rentang toleransi ini.
b) Nilai maksimum perubahan dimensi yang diperbolehkan pada keseluruhan panjang paralel L_o benda uji.

6.11 Benda uji No. 14

6.11.1 Benda uji No. 14A

Bentuk dan ukuran benda uji No. 14A seperti pada Gambar 19 dan Tabel 14.

Gambar 19 – Benda uji No. 14A

Tabel 14 – Ukuran benda uji No. 14A

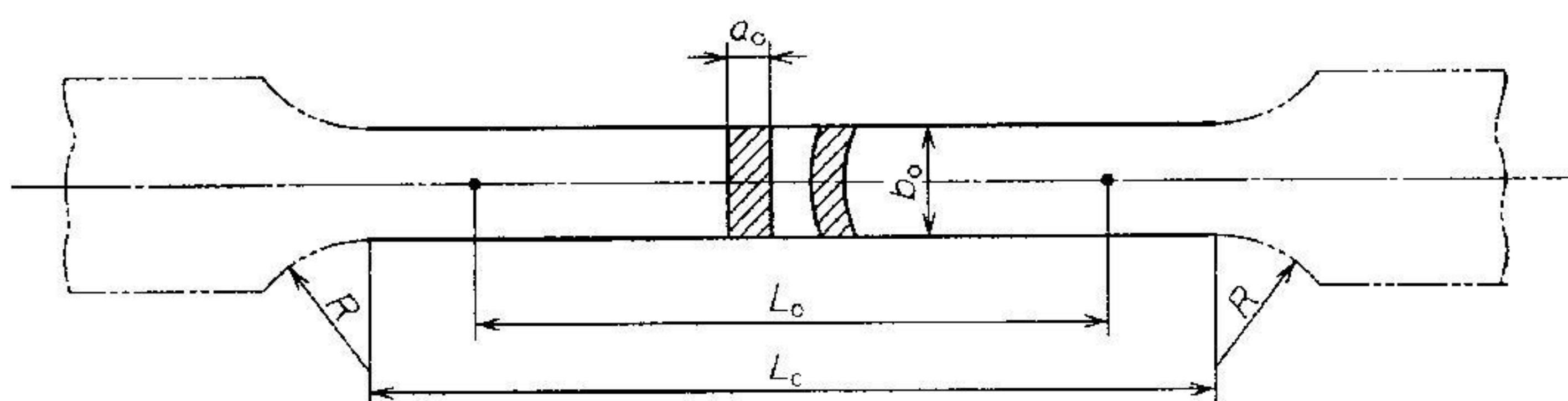
Satuan: mm

Panjang ukur L_o	Panjang paralel L_c	Radius transisi R
$5{,}65\sqrt{So}$	$5{,}5d_o$ sampai $7d_o$	Min 15

CATATAN

1. Panjang ukur $L_o = 5d_o$ Penampang bundar
   $L_o = 5{,}65d_o$ Penampang persegi
   $L_o = 5{,}26d_o$ Penampang heksagonal
2. Panjang paralel L_c sebesar $L_c = 7d_o$ selama dapat diterapkan
3. Diameter bagian yang dijepit dari benda uji dapat dibuat sama dengan bagian paralel dengan jarak antar penjepit sebesar $L_c \geq 8d_o$.

6.11.2 Benda uji No. 14B

Bentuk dan ukuran benda uji No. 14B seperti pada Gambar 20 dan Tabel 15.

Gambar 20 – Benda uji No. 14B

Tabel 15 – Ukuran batang uji No. 14B

Satuan: mm

Lebar b_o	Panjang ukur L_o	Panjang paralel L_c	Radius transisi R	Tebal a_o
Maks 8 a_o	5,65 $\sqrt{So}$	(L_o + 1,5$\sqrt{S_o}$) sampai (L_o + 2,5$\sqrt{S_o}$)	Min 15	Sesuai tebal bahan

CATATAN

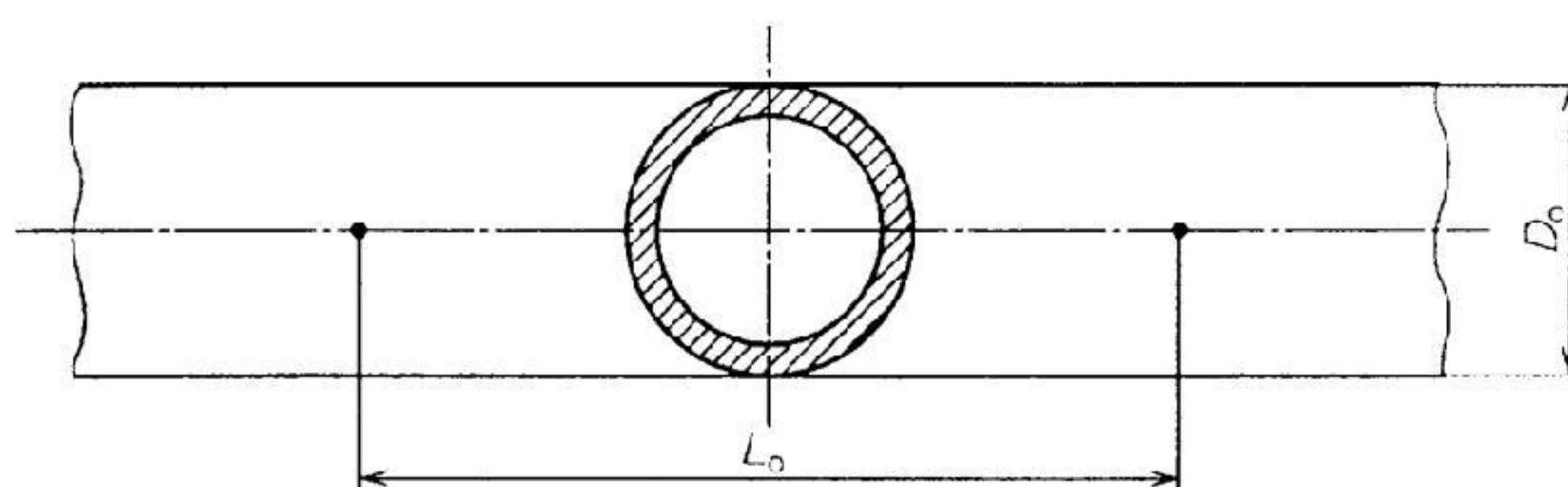
1. Panjang paralel L_c sebesar $L_c = L_o + 2\sqrt{S_o}$ selama dapat diterapkan.
2. Jika benda uji berbentuk pipa, bagian paralel tetap berbentuk pipa.
3. Lebar bagian yang dijepit dari benda uji dapat dibuat sama dengan bagian paralel dengan jarak bagian yang dijepit, $L_c = L_o + 3\sqrt{S_o}$
4. Untuk menggunakan benda uji ini sebaiknya ukuran diasumsikan dengan ketebalan pelat sesuai Tabel 16.
5. S_o adalah luas penampang

Tabel 16 – Ukuran benda uji No. 14B

Satuan: mm

Ketebalan pelat a_o	Lebar b_o	Panjang ukur L_o	Panjang paralel L_c
5,5 < a_o ≤ 7,5	12,5 ± 0,5	50	80
7,5 < a_o ≤ 10		60	
10 < a_o ≤ 13	20 ± 0,7	85	130
13 < a_o ≤ 19		100	
19 < a_o ≤ 27	40 ± 0,7	170	265
27 < a_o ≤ 40		205	

6.11.3 Benda uji No. 14C

Benda uji No. 14C digunakan untuk produk pipa. Bentuk benda uji seperti pada Gambar 21.

CATATAN

1. Panjang ukur $L_o = 5,65\sqrt{S_o}$
2. Kedua ujung benda uji yang akan dijepit disumbat. Panjang bagian yang diperbolehkan terdeformasi tanpa menyentuh penyumbat harus dalam rentang $L_o + D_o/2$ sampai dengan $L_o + 2D_o$, tetapi diutamakan Lo + $2D_o$.

Gambar 21 – Benda uji No. 14C

7 Panjang benda uji tanpa nilai regang dan toleransi pembulatan

Apabila nilai elongasi tidak diperlukan dalam uji tarik maka panjang bagian paralel setiap benda uji yang ditetapkan pada Pasal 6 dapat diganti menjadi $L_c \geq 3d_o$ atau $L_c = 3\sqrt{S_o}$.

8 Toleransi panjang ukur benda uji proporsional

Toleransi panjang ukur benda uji proporsional maksimum 10%.

9 Toleransi dimensi dan bagian paralel benda uji

9.1 Toleransi penyimpangan dimensi akibat pengerjaan mesin terhadap lebar dan diameter benda uji harus sesuai Tabel 17.

Tabel 17 – Toleransi perubahan dimensi lebar dan diameter benda uji

Satuan: mm

Penandaan	Lebar atau diameter nominal	Toleransi perubahan dimensi[a)]
Diameter benda uji dengan penampang bundar dan empat sisi benda uji dengan penampang persegi panjang atau persegi	≥ 3 ≤ 6	0,03
	> 6 ≤ 10	0,04
	> 10 ≤ 18	0,04
	> 18 ≤ 30	0,05
Lebar benda uji berbentuk pelat yang hanya dilakukan permesinan pada kedua sisi pada arah lebar	≥ 3 ≤ 6	0,03
	> 6 ≤ 10	0,04
	> 10 ≤ 18	0,06
	> 18 ≤ 30	0,10
	> 30 ≤ 50	0,10

CATATAN
[a)] Perbedaan antara nilai lebar atau diameter maksimum dan minimum sepanjang keseluruhan panjang paralel benda uji

9.2 Toleransi perubahan dimensi akibat pengerjaan mesin dengan menggunakan dimensi nominal sebagai perhitungan ditunjukan pada Tabel 18.

Tabel 18 – Toleransi menggunakan dimensi nominal untuk menghitung luas penampang benda uji

Satuan: mm

Penandaan	Lebar atau diameter nominal	Toleransi perubahan dimensi[a)]
Diameter benda uji dengan penampang bundar dan empat sisi benda uji dengan penampang persegi panjang atau persegi	≥ 3 ≤ 6	±0,01
	> 6 ≤ 10	±0,02
	> 10 ≤ 18	±0,03
	> 18 ≤ 30	±0,06
Lebar benda uji berbentuk pelat yang hanya dilakukan permesinan pada kedua sisi pada arah lebar	≥ 3 ≤ 6	±0,01
	> 6 ≤ 10	±0,02
	> 10 ≤ 18	±0,03
	> 18 ≤ 30	±0,06
	> 30 ≤ 50	±0,10

CATATAN

a) Toleransi ini berlaku jika nilai nominal dari luas penampang *So* dihitung tanpa mengukurnya. Jika toleransi permesinan tidak sesuai, setiap dimensi benda uji harus diukur

10 Cara uji

10.1 Prinsip pengujian

Pengujian terdiri dari penarikan benda uji secara terus menerus dengan beban uji yang bertambah besar sampai putus untuk menentukan nilai-nilai sifat mekanis.

Uji tarik dilakukan pada temperatur ruang 10°C sampai 35°C, jika tidak nilai temperatur harus dicantumkan pada laporan hasil uji.

10.2 Peralatan

10.2.1 Mesin uji

Uji tarik dilakukan pada mesin uji tarik. Jalannya pembebanan, beban maksimum dan beban putus harus dapat dibaca. Mesin uji tarik harus dikalibrasi menurut ketentuan kalibrasi mesin uji yang berlaku dan harus memenuhi syarat sebagai tingkat (*grade*) tertentu. Mesin uji tarik yang digunakan harus sesuai dengan JIS B 7721.

Pembacaan beban harus dapat mencapai 10% di atas beban maksimum menurut skala penunjuk beban yang dipakai pada mesin uji tarik.

10.2.2 Ekstensiometer

Untuk pengukuran kuat tahan (perpanjangan plastis atau perpanjangan total), ekstensiometer yang digunakan harus sesuai dengan JIS B 7741.

10.2.3 Alat jepit benda uji

Alat jepit benda uji harus dapat bekerja sebaik mungkin, sehingga waktu pengujian, beban tarik harus segaris lurus dengan sumbu benda uji yang dijepit.

10.3 Pengukuran sifat mekanis

10.3.1 Kuat luluh dan kuat tahan

10.3.1.1 Kuat luluh atas R_{eH}

Laju tegangan sesuai pada Tabel 19.

CATATAN Sebagai informasi, bahan dengan modulus elastisitas lebih rendah dari 150 000 MPa seperti logam Magnesium, Paduan Aluminium, Kuningan, dan Titanium. Bahan dengan modulus elastisitas lebih tinggi dari 150 000 MPa seperti Besi, Baja, Tungsten dan Paduan Nikel.

Tabel 19 – Laju tegangan

Modulus elastisitas bahan E (MPa)	Laju tegangan $\acute{R}$ (MPa/s)	
Sistem	Min	Maks
< 150 000	2	20
≥ 150 000	3	30

10.3.1.2 Kuat luluh bawah R_{eL}

Jika hanya kuat luluh bawah yang diukur, laju regangan selama peluluhan bagian paralel benda uji yaitu 0,000 25 per detik dan 0,002 5 per detik. Laju regangan pada bagian paralel harus dijaga tetap konstan. Jika laju regangan tidak dapat diatur langsung, kecepatan penarikan harus diatur dalam batasan yang sama dengan laju tegangan tepat sebelum mulai proses luluh, pengaturan mesin tidak dilanjutkan hingga proses luluh selesai. Jika tidak terdapat permasalahan, laju tegangan pada bagian elastis akan melebihi rentang pada Tabel 19.

10.3.1.3 Kuat luluh atas dan kuat luluh bawah R_{eH} dan R_{eL}

Jika kedua kuat luluh atas dan kuat luluh bawah diukur, kondisi pengukuran kuat luluh bawah harus sesuai dengan Pasal 10.3.1.2.

10.3.1.4 Kuat tahan (perpanjangan plastis) dan kuat tahan (perpanjangan total)

Laju tegangan harus sesuai dengan Tabel 19. Jika diatur dengan kecepatan penarikan, laju tegangan harus dijaga tetap konstan dengan batasan sesuai dengan laju tegangan pada Tabel 19. Dalam bagian plastis hingga kuat tahan (perpanjangan plastis atau perpanjangan total), laju regangan tidak melebihi 0,002 5 per detik.

10.3.1.5 Kecepatan penarikan v_c

Jika mesin uji tidak dapat mengukur pengaturan laju regangan, kecepatan penarikan ekuivalen dengan laju tegangan pada Tabel 19 harus digunakan hingga proses luluh selesai.

10.3.1.6 Kuat tarik R_m, persen elongasi setelah putus A, regangan total pada beban maksimum A_{gt}, regangan plastis pada beban maksimum A_g, dan persen reduksi luas penampang Z

Setelah pengukuran kuat luluh dan kuat tahan, laju pengujian (laju regangan atau kecepatan penarikan) harus sesuai Tabel 20. Jika hanya uji tarik yang diukur, Tabel 20 harus digunakan.

Tabel 20 – Laju pengujian ketika hanya mengukur kuat tarik setelah mengukur kuat luluh/kuat tahan

Satuan: per detik

Bahan	Laju minimum	Laju maksimum
Baja	0,003	0,008
Lainnya	-	0,008

Penggunaan laju regangan (atau kecepatan penarikan) lebih dari 0,008 per detik harus berdasarkan pada standar produknya. Kuat tarik dihitung dengan rumus berikut:

$$R_m = \frac{F_m}{S_o}$$

dimana, R_m kuat tarik (MPa)
F_m beban maksimum (N)
S_o luas penampang awal bagian paralel (mm^2)

10.3.2 Perhitungan kuat luluh atas R_{eH}

R_{eH} harus diukur dari kurva beban-perpanjangan atau puncak indikator beban, dan didefinisikan sebagai nilai maksimum sebelum penurunan beban pertama. Kuat luluh atas diperoleh dengan membagi beban dengan luas penampang awal S_o benda uji. Kuat luluh atas dihitung dengan rumus berikut:

$$R_{eH} = \frac{F_{eH}}{S_o}$$

dimana, R_{eH} kuat luluh atas (MPa)
F_m beban maksimum pada kuat luluh atas (N)
S_o luas penampang awal bagian paralel (mm^2)

CATATAN Beban maksimum F_{eH} (N) sebelum penurunan pertama diperoleh berdasarkan kurva beban-perpanjangan untuk memperoleh kuat luluh atas. Pengukuran juga dapat dilakukan dengan indikator puncak beban.

10.3.3 Perhitungan kuat luluh bawah R_{eL}

R_{eL} harus diukur dari kurva beban-perpanjangan, dan didefinisikan sebagai nilai tegangan minimum selama peluluhan plastis dengan mengabaikan inisiasi efek transisi. Kuat luluh bawah diperoleh dengan membagi beban ini dengan luas penampang S_o benda uji. Kuat luluh bawah dihitung dengan rumus berikut:

$$R_{eL} = \frac{F_{eL}}{S_o}$$

dimana, R_{eL} kuat luluh bawah (MPa)
F_{eL} beban maksimum pada kuat luluh bawah (N)
S_o luas penampang awal bagian paralel (mm^2)

CATATAN Beban maksimum F_{eL} (N), mengabaikan inisiasi efek transien, diperoleh berdasarkan kurva beban-perpanjangan untuk memperoleh kuat luluh bawah.

10.3.4 Kuat tahan (perpanjangan plastis) R_p

10.3.4.1 R_p diperoleh dari kurva beban-perpanjangan dengan menggambar garis paralel terhadap garis linear kurva dan pada jarak ekuivalen terhadap persen perpanjangan plastis yang ditentukan (contoh 0,2%). Titik dimana garis berpotongan dengan kurva beban-perpanjangan menunjukan beban kuat tahan (perpanjangan plastis). Kuat tahan diperoleh dengan membagi beban ini dengan luas penampang S_o benda uji (lihat Gambar 3).

10.3.4.2 R_p dapat diperoleh dengan menggunakan mesin uji tarik otomatis tanpa melakukan *plotting* pada kurva beban-perpanjangan.

10.3.5 Kuat tahan (perpanjangan total) R_t

10.3.5.1 R_t diperoleh dari kurva beban-perpanjangan dengan menggambar garis paralel terhadap sumbu ordinat (sumbu beban) dan pada jarak ekuivalen terhadap perpanjangan total yang ditentukan. Titik dimana garis berpotongan dengan kurva beban-perpanjangan menunjukan beban kuat tahan (perpanjangan total). Kuat tahan diperoleh dengan membagi beban ini dengan luas penampang S_o benda uji (lihat Gambar 4).

10.3.5.2 R_t dapat diperoleh dengan menggunakan mesin uji tarik otomatis tanpa melakukan *plotting* pada kurva beban-perpanjangan.

10.3.6 Metode verifikasi kuat permanen yang ditetapkan R_r

Benda uji diberikan beban sesuai dengan tegangan yang ditentukan selama 10 detik hingga 12 detik. Beban diperoleh dengan mengkalikan tegangan yang ditentukan dengan luas penampang So benda uji. Setelah melepaskan beban, kemudian benda uji dikonfirmasi dengan perpanjangan permanen yang ditetapkan atau elongasi tidak lebih dari persen panjang ukur yang ditentukan (lihat Gambar 5).

10.3.7 Regangan titik luluh A_e

Bahan yang menunjukan peluluhan diskontinu, A_e harus diperoleh dari kurva beban-perpanjangan dengan mengurangi perpanjangan pada R_{eH} dari perpanjangan pada awal *workhardening* yang seragam. Perpanjangan tersebut didefinisikan sebagai perpotongan garis horizontal melalui titik akhir minimum sebelum *workhardening* yang seragam, garis regresi melalui rentang luluh sebelum *workhardening* yang seragam atau garis penyesuaian kemiringan tertinggi kurva yang terjadi pada saat dimulainya *workhardening* yang seragam (lihat Gambar 6). A_e ditunjukkan sebagai persen panjang ukur ekstensiometer.

10.3.8 Regangan plastis pada beban maksimum Ag

Metode meliputi perolehan perpanjangan pada beban maksimum pada kurva beban-perpanjangan yang diperoleh dengan ekstensiometer dan mengurangi regangan elastis. Regangan plastis pada beban maksimum dihitung dengan rumus:

$$A_g = \left(\frac{\Delta L_m}{L_e} - \frac{R_m}{m_E}\right) \text{ x } 100$$

dimana,
- A_g regangan plastis
- L_e panjang ukur ekstensiometer
- m_E kemiringan bagian elastis pada kurva tegangan-persen perpanjangan
- R_m kuat tarik
- ΔL_m perpanjangan pada beban maksimum

CATATAN Untuk bahan yang menunjukkan *plateu* pada beban maksimum, regangan plastis pada beban maksimum merupakan perpanjangan pada titik tengah *plateu* (lihat Gambar 1).

10.3.9 Regangan total pada beban maksimum A_{gt}

Metode meliputi perolehan perpanjangan pada beban maksimum pada kurva beban-perpanjangan yang diperoleh dengan ekstensiometer. Regangan total pada beban maksimum dihitung dengan rumus:

$$A_{gt} = \left(\frac{\Delta L_m}{L_e}\right) \text{ x } 100\%$$

dimana, L_e panjang ukur ekstensiometer
ΔL_m perpanjangan pada beban maksimum

CATATAN Untuk bahan yang menunjukkan *plateu* pada beban maksimum, regangan total pada beban maksimum merupakan perpanjangan pada titik tengah *plateu* (lihat Gambar 1).

10.3.10 Regangan total pada saat putus A_t

Metode meliputi perolehan perpanjangan pada saat putus pada kurva beban-perpanjangan yang diperoleh dengan ekstensiometer. Regangan total pada saat putus dihitung dengan rumus:

$$A_t = \left(\frac{\Delta L_f}{L_e}\right) \text{ x } 100\%$$

dimana, L_e panjang ukur ekstensiometer
ΔL_f perpanjangan pada saat putus

10.3.11 Persen elongasi setelah putus A

10.3.11.1 Persen elongasi setelah putus A diperoleh sesuai dengan definisi pada Pasal 3.8. Untuk pengukuran ini, penampang putus benda uji disambungkan kembali dalam sebuah garis lurus. Persen elongasi setelah putus dihitung dengan rumus:

$$A = \frac{L_u - L_o}{L_o} \text{ x } 100\%$$

dimana, L_u panjang akhir setelah putus
L_o panjang ukur (awal)

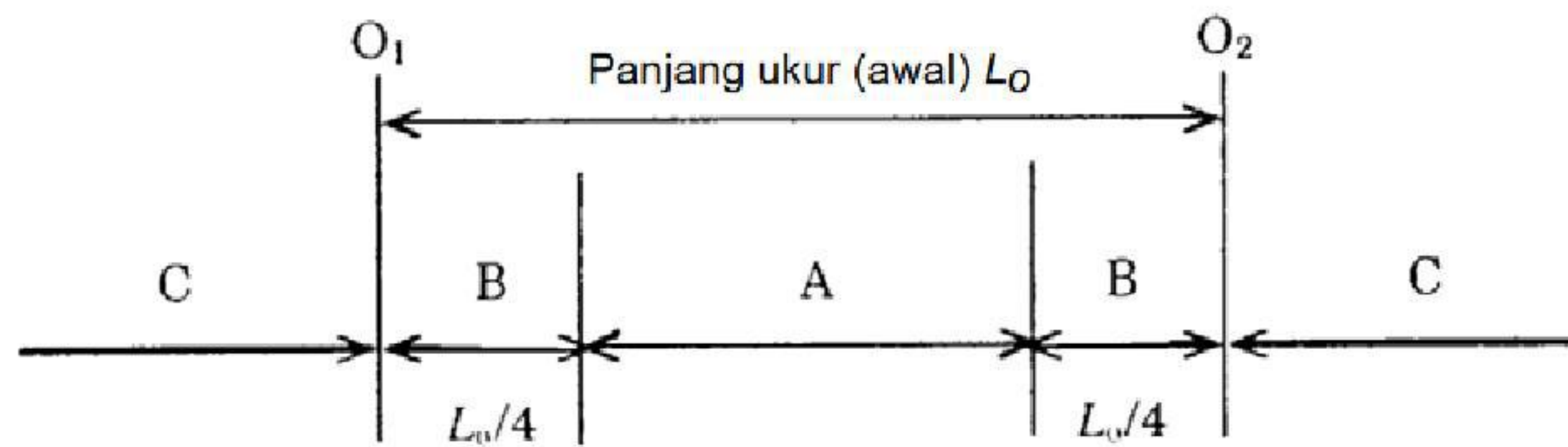
Elongasi setelah putus ($L_u - L_o$) harus diukur mendekati 0,25 mm atau lebih baik dengan menggunakan alat ukur yang presisi.

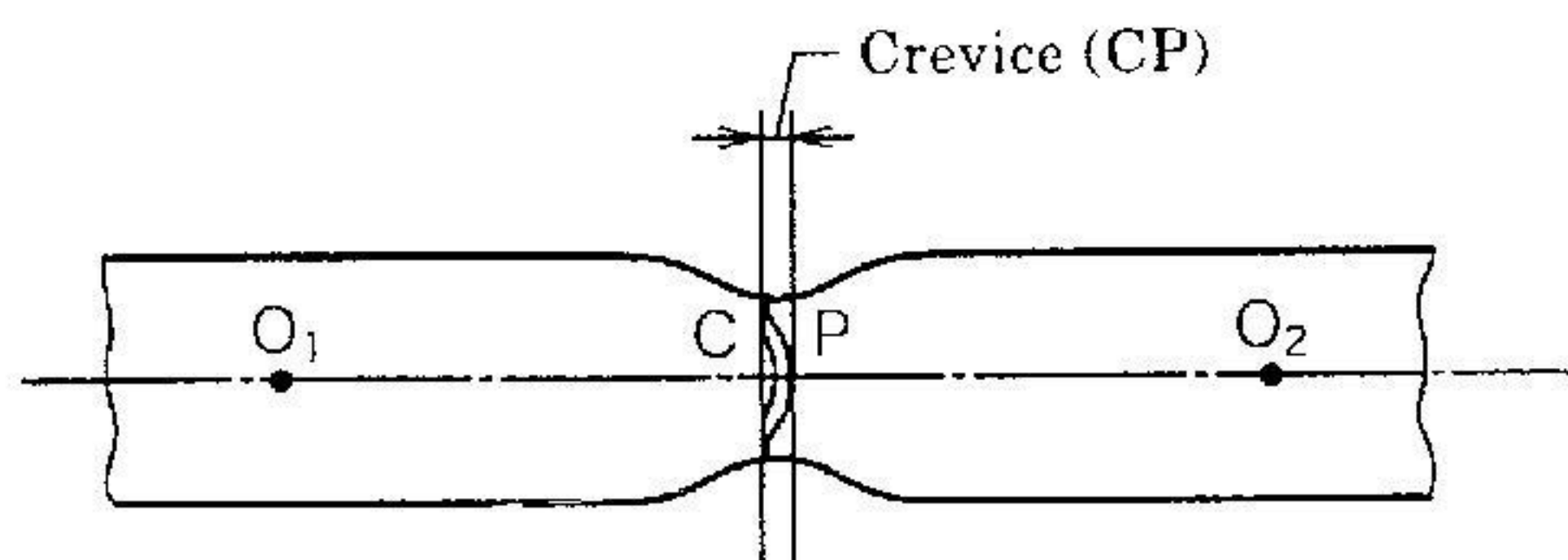
Hasil pengukuran ini valid jika jarak antara penampang putus dengan penanda ukur (gauge) terdekat tidak kurang dari ¼ panjang ukur awal L_o.

CATATAN Jika diperlukan, lokasi penampang putus pada benda uji harus diidentifikasikan dengan penambahan simbol berikut:

A: Putus pada ¼ atau lebih dari panjang ukur L_o jauh dari tanda gauge terdekat (lokasi A dalam Gambar 22)

B: Putus pada kurang dari ¼ panjang ukur L_o dekat dengan tanda *gauge* terdekat (lokasi B dalam Gambar 22)

C: Putus pada luar tanda *gauge* (lokasi C pada Gambar 22).

Gambar 22 – Lokasi dan simbol patah benda uji

CATATAN Jika celah/*crevice* (CP) terdapat di tengah *breadth* (Gambar 23), ketika bagian patah pada benda uji pelat disambungkan kembali, elongasi setelah patah harus dihitung dengan panjang keseluruhan antara tanda gauge O_1O_2 termasuk jarah CP pada celah.

Gambar 23 – Contoh *breadth* yang dipasang kembali

10.3.11.2 Jika perpanjangan pada penampang putus diukur dengan menggunakan ekstensiometer, tidak perlu menggunakan tanda *gauge* pada benda uji. Persen elongasi setelah putus diperoleh dengan elongasi elastis dikurangi perpanjangan pada penampang putus.

10.3.12 Persen reduksi luas penampang Z

Persen reduksi luas penampang Z diperoleh sesuai dengan definisi pada Pasal 3.21. Untuk pengukuran ini, patahan benda uji disambungkan kembali dalam sebuah garis lurus. Persen reduksi luas penampang dihitung dengan rumus:

$$Z = \frac{S_u - S_o}{S_o} \times 100\%$$

dimana, S_o luas penampang (awal) pada bagian paralel
S_u luas penampang minimum setelah putus

11 Laporan hasil uji

Pada laporan hasil uji tarik sedikitnya mencantumkan:

- Referensi standar ini
- Identifikasi benda uji
- Tipe bahan (jika diketahui)
- Ukuran benda uji
- Posisi pengambilan contoh dan arah pengambilan contoh benda uji (jika diketahui)
- Hasil uji

Bibliografi

JIS Z 2241:2011, *Metallic materials – Tensile testing – Method of test at room temperature*

Informasi pendukung terkait perumus standar

[1] Komite Teknis perumus SNI

Komite Teknis 77-01, *Komite Teknis Logam, baja, dan produk baja*

[2] Susunan keanggotaan Komite Teknis perumus SNI

Ketua : Budi Irmawan
Sekretaris : Hasan Fuadi
Anggota :
1. Mughofur
2. Richard
3. Winarto
4. Asep Lukman
5. Bambang Irawan
6. Roslina
7. Basso Datu Makahanap
8. Abu Bakar
9. Iwan Pandji
10. Pramudya Sunu
11. Deni Ferdian

[3] Konseptor rancangan SNI

Nama	Lembaga
Winarto	Universitas Indonesia
Deni Ferdian	Universitas Indonesia
Ari Uliana	Pusat Standardisasi – BPPI – Kementerian Perindustrian

[4] Sekretariat pengelola Komite Teknis perumus SNI

Pusat Standardisasi, Badan Penelitian dan Pengembangan Industri, Kementerian Perindustrian